

# Die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie

Von

**Dr. phil. Ernst Damerow**

Vorsteher der Werkstoffprüfung der A. Borsig Maschinenbau-A.G.

Mit 280 Textabbildungen  
und 9 Tafeln



**Berlin**  
Verlag von Julius Springer  
1935

ISBN-13:978-3-642-89617-0

e-ISBN-13:978-3-642-91474-4

DOI: 10.1007/978-3-642-91474-4

Alle Rechte, insbesondere  
das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1935

## Vorwort.

Dieses Buch verdankt seine Entstehung der Anregung jener Herstellerkreise, denen die Werkstoffabnahme nicht fremd sein darf. Es will insbesondere dem Bedürfnis Rechnung tragen, über die Abnahme und ihre Prüfungen aufklärend zu wirken. Es will dem Abnehmer und Erzeuger den besonderen Dienst erweisen, beiderseitige Mißverständnisse zu beseitigen, um so an dem Wiederaufbau der deutschen Industrie in einem geringen Teil mitzuarbeiten.

An dieser Stelle sei der Leitung der Fa. A. Borsig Masch.-Bau-A.G. Berlin-Tegel, vor allem dafür gedankt, daß sie es mir in ihrem außerordentlich vielseitigen Betriebe ermöglichte, mannigfaltige Werkstoffkenntnisse und abnahmetechnische Erfahrungen zu sammeln.

Meinem ehemaligen Assistenten Herrn Götsch sei für die mir gewährte Unterstützung bei zeichnerischen Darstellungen meine Anerkennung ausgesprochen.

Berlin-Tegelort, im Oktober 1934.

**Dr. E. Damerow.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Einleitung . . . . .	1
2. Hersteller und Abnahme . . . . .	2
3. Einstiges und Gegenwärtiges in der Werkstoffabnahme . . . . .	3
4. Die Probeentnahme . . . . .	4
a) Vorbereitung . . . . .	5
b) Die Auswahl . . . . .	5
c) Die Probeanstempelung . . . . .	6
d) Die Probenlage . . . . .	7
5. Probenherstellung . . . . .	11
6. Probenabmessung . . . . .	12
7. Der Zugversuch . . . . .	14
a) Versuchsdurchführung im Spannungs-Dehnungs-Schaubild . . . . .	15
b) Die Proportionalitätsgrenze . . . . .	16
c) Die Streck- bzw. Fließgrenze . . . . .	17
d) Die 0,2-Grenze . . . . .	18
e) Streckgrenzenbeeinflussungen . . . . .	20
f) Die Zugfestigkeit . . . . .	22
8. Zugversuch mit Feinmessung . . . . .	24
a) Die Apparatur . . . . .	24
b) Richtlinien für die Benützung der Martenschen Spiegelapparate . . . . .	27
9. Andere Feinmeßgeräte . . . . .	31
a) Martens-Kennedy . . . . .	31
b) Dehnungsmesser von Amsler . . . . .	32
c) Tensometer Huggenberger . . . . .	33
10. Das Formänderungsvermögen . . . . .	37
a) Die Dehnung . . . . .	37
b) Die Dehnungsmessung . . . . .	37
c) Die Meßlänge . . . . .	40
d) Die Kontraktion . . . . .	42
e) Die Güteziffer . . . . .	44
11. Das Bruchaussehen, eine Festigkeitskennzeichnung . . . . .	45
12. Die Warmfestigkeit und ihre Prüfung . . . . .	48
13. Der Scherversuch . . . . .	53
14. Die Härteprüfung . . . . .	55
15. Abhängigkeiten der Härtezahl . . . . .	57
16. Ersatz- und Hilfsgeräte zur Ermittlung der Brinellschen Kugeldruckhärte . . . . .	62
Differenzialbestimmung, Shorehärte (Rückprallversuche), Rockwellprüfer bzw. Prüfer mit Vorlast . . . . .	63
Ritzhärteverfahren nach Martens . . . . .	64

	Seite
17. Kerbzähigkeit . . . . .	65
18. Bruchaussehen der Kerbschlagbiegeproben als Ergänzungsprüfung . . . . .	70
19. Beeinflussungen der Kerbschlagarbeit . . . . .	72
20. Der Schlagzugversuch . . . . .	74
21. Die Dauerversuche . . . . .	75
a) Ermüdung . . . . .	75
b) Schwingungsfestigkeit . . . . .	77
c) Dauerwechselschlagversuch. . . . .	78
22. Technologische Prüfungen . . . . .	79
Der Biegeversuch (Kaltbiegeprobe) . . . . .	79
23. Abgeänderte Biegeversuche. . . . .	85
a) Kerbbiegeprobe . . . . .	85
b) Gewindebiegeprobe . . . . .	86
c) Hin- und Her-Biegeprobe . . . . .	86
d) Verwindungsprobe . . . . .	87
e) Wickelprobe . . . . .	88
f) Schlagbiegeprobe . . . . .	88
g) Winkelbiegeprobe . . . . .	88
h) Die Doppelfaltprobe . . . . .	89
i) Die Gußbiegeprobe . . . . .	89
k) Die Rohrbiegeprobe . . . . .	89
l) Kopfschlagbiegeprobe . . . . .	90
m) Warmbiegeprobe . . . . .	90
n) Abschreckbiegeprobe . . . . .	90
o) Schlagbiegeprobe (Versuchseinrichtung) . . . . .	91
24. Der Stauchversuch . . . . .	93
25. Schmiedeproben . . . . .	95
a) Die Lochprobe . . . . .	96
b) Die Warmkopfschlagprobe . . . . .	97
c) Die Ausbreitprobe . . . . .	97
d) Hörndelprobe . . . . .	97
e) Aufweitprobe . . . . .	97
(Aufdornversuch, Zughakenaufweitung, Polterprobe) S. 98—100	
26. Die Bördelprobe . . . . .	100
27. Die Fallprobe (Erschütterungsprobe) . . . . .	102
28. Die Klangprobe . . . . .	103
29. Die Druckprobe (Wasserdruckprobe, Dichtheitsprobe, Ammoniakprobe, Luftdruckprobe unter Wasser, Öldichtheitsprobe) . . . . .	103
30. Die Tiefungsprobe . . . . .	105
31. Die Häufigkeit (Großzahlforschung) . . . . .	106
32. Einsatzhärtung und ihre Prüfung . . . . .	106
33. Korrosion und ihre Prüfung . . . . .	113
34. Schweißprüfung . . . . .	117
35. Ketten und Kettenbaustoffprüfung . . . . .	128
36. Prüfung von Federn und Federbaustoffen . . . . .	130
37. Prüfung von Gußeisen . . . . .	132
38. Prüfung des mechanischen Alters . . . . .	137
39. Prüfung der Eigenschaftsänderung durch Rekristallisation . . . . .	141
40. Prüfung des Werkstoffes durch die Fryschen Kraftwirkungsfiguren . . . . .	143
41. Der Rotbruchversuch . . . . .	145
42. Die Blaubrüchigkeit . . . . .	147

	Seite
43. Werkstattmäßige Untersuchungen . . . . .	148
a) Unterscheidung der Stahlsorten (Feilprüfung, Funkenprüfung) . . .	148
b) Untersuchung der Stähle auf Zähigkeit . . . . .	149
c) Prüfung auf Seigerung . . . . .	150
d) Prüfung auf Rot- und Kaltbruch . . . . .	150
e) Prüfung auf Schweißbarkeit . . . . .	150
f) Untersuchung auf Risse . . . . .	150
g) Untersuchung auf „unganze“ Stellen . . . . .	150
h) Prüfung metallischer Überzüge . . . . .	151
i) Prüfung auf Siemens-Martin-Flußstahl und Schweißeisen . . . . .	151
44. Röntgenographische Prüfung . . . . .	151
45. Beeinflussung der Prüfeigenschaften durch die Verformung . . . . .	156
a) Die Kaltverarbeitung . . . . .	156
b) Die Warmverarbeitung . . . . .	157
46. Änderung der Werkstoffeigenschaften durch Glühen . . . . .	160
47. Glühwirkungen beim Stahlguß . . . . .	171
48. Eigenschaftsänderungen durch Vergütung . . . . .	174
49. Die Werkstoffverunreinigung als Eigenschaftsfaktor . . . . .	180
50. Prüfmaschinen für Abnahmeprüfungen . . . . .	190
a) Prüfmaschinen . . . . .	192
b) Eichung bzw. Kontrolle von Festigkeitsmaschinen . . . . .	196
c) Meßdose zur Kontrolle von Festigkeitsmaschinen . . . . .	196
51. Einspannung . . . . .	198
52. Werkstoffvorschriften . . . . .	202
Sachverzeichnis . . . . .	205

## 1. Einleitung.

Die berufene Vermittlerin zur Beseitigung des gegenseitigen Mißtrauens zwischen Erzeuger und Verbraucher ist die Werkstoffabnahme. Sie ist die Basis, auf der sich Käufer und Verkäufer finden und verständigen können. Mag die Werkstoffabnahme als qualitätsfördernd oder als produktionshindernd angesehen werden: eine hochentwickelte Industrie wird sie als offizielle Bestätigung ihrer qualitativen Leistungen begrüßen. Der einsichtige Verbraucher weiß zwar, daß heute gute technische Arbeit bewußt angewendete Wissenschaft ist; er ist von der Förderung und strengen Überwachung aller Erzeugnisse durch moderne Werkstoffforschungsstätten überzeugt, allein den Nachweis möchte er doch durch eine genaue Abnahmeprüfung geführt wissen.

In der Erkenntnis dieser unabänderlichen Tatsache ist das vorliegende Buch entstanden. Es wird unter dem Titel „Die Werkstoffabnahme metallischer Erzeugnisse“ versucht, die mechanischen Vorgänge bei der Prüfung zu beleuchten, ohne jedoch in eine erschöpfende wissenschaftliche Erörterung einzutreten. Hierbei wurde, soweit dies notwendig, besonderer Wert auf die Klarstellung der die Eigenschaften beeinflussenden Faktoren gelegt. Eine ausgiebige wissenschaftliche Durchdringung aller die Werkstoffprüfung berührenden Fragen konnte dem Titel und Umfang des Buches entsprechend nicht zweckmäßig erscheinen. Wenn ich mich manchmal nur mit der Feststellung der Erscheinungen ohne weitere Begründung begnüge, so vergesse man nicht, daß viele alte und neue Fragen noch der endgültigen Beantwortung harren. Auf Grund meiner vieljährigen Tätigkeit in einer deutschen Fabrikationsstätte mannigfaltigster Industrieerzeugnisse habe ich mich eingehend mit dem in- und ausländischen Abnahmewesen beschäftigen müssen. Aus diesen Erfahrungen heraus sind die nachfolgenden Gedanken und Feststellungen geboren, die sowohl dem Hersteller als dem Kunden dienen sollen.

Daß die Funktionen der Festigkeit und Elastizität eingehend besprochen und alle für die Abnahme wichtigen Prüfarten im Lichte der Werkstoffabnahme kritisch behandelt wurden, ist erklärlich; denn in der einschlägigen Literatur sind abnahmetechnische Einzelheiten nur wenig berücksichtigt worden. Ich bin mir aber darüber klar, daß deswegen dem vorliegenden Buche gewisse Unvollkommenheiten anhaften müssen, da es eingehende Überprüfungen an der Hand autoritativer Belege nicht enthält.

Ebenso geht es weit über den Rahmen des vorliegenden Buches hinaus, unwesentliche und problematische Fragen zu besprechen. Andererseits werden manche prüftechnischen Fragen mit einer scheinbar überflüssigen Gründlichkeit erörtert. Dies geschah jedoch in der Absicht, erlaubte Vorteile und abstellbare Nachteile ins rechte Licht zu rücken.

Der Leser dieses Buches soll ein die Werkstoffabnahme behandelndes Nachschlagewerk in die Hand bekommen. Der Ein- und Verkäufer benötigt eine schnelle Orientierung über abnahmetechnische Ausdrücke, Vorschriften und Umrechnungen. Dem Konstrukteur soll das langwierige Suchen in Abnahmevorschriften und Abhandlungen nach einzelnen Zahlen und Faktoren erspart bleiben; ihm soll gleichfalls ein Überblick über die Werkstoffänderungen, über gewisse Voraussetzungen der Brauchbarkeit irgendeines Werkstoffes gegeben werden. Für den Werkstattingenieur, die Abnahmestelle oder die Laboratorien werden zur glatten Abwicklung der Abnahmegeschäfte unentbehrliche Fingerzeige geboten, da es gilt, die Werkstoffe „abnahmefähig“ zu machen, sie den Abnahmevorschriften anzupassen.

## 2. Hersteller und Abnahme.

In dem üblichen Zusatz „mit Abnahme“ liegt eine von kaufmännischer Seite wenig gewürdigte Einschränkung einer Bestellung, eines Kaufvertrages. Wenn der Lieferant leichtfertig über diesen Punkt hinweggeht, so wird er den Schaden tragen. Auf eine nicht geläufige Abnahmebedingung darf nicht ohne Befragen des sachkundigen Herstellungsbetriebes eingegangen werden, soll nicht von vornherein in den glatten Verlauf des Abnahmegeschäftes eine gewisse Unsicherheit hineingetragen werden. Die Abnahme stellt die letzte Etappe im Verkauf eines Werkstückes, die wichtigste Erfüllung eines Lieferungsvertrages dar; denn der Besteller kann bei nicht vollständig bedingungsgemäßer Werkstofflieferung jederzeit zurüctreten. Ja, es mag vorkommen, daß durch die Unmöglichkeit der Erfüllung einer im guten Glauben anerkannten Werkstoffvorschrift die liefernde Fabrik den eigenen wirtschaftlichen Ruin herbeiführt. Es ist daher von größter Bedeutung, alle Unklarheiten der Werkstoff- und Konstruktionsvorschrift vor Eintritt in die Herstellung durch Besprechung oder eingehenden Schriftwechsel zu beseitigen.

Nicht zuletzt ist auch ein festgewurztes Vertrauensverhältnis zwischen Lieferant und Abnehmer von unschätzbarem Wert. Dieser will nicht nur Vertreter und Treuhänder des Bestellers, sondern auch williger Berater des Erzeugers sein. Man sollte es daher nicht unterlassen, in allen den Abnehmer angehenden Fragen besonderer Natur seine Ansichten und Wünsche zu erfahren.



Der ständige Abnehmer ist nicht selten bester Psychologe, dasselbe sollte auch der Lieferant oder sein Vertreter sein. Er sollte eine Persönlichkeit sein, die trotz mannigfaltiger Charaktereigentümlichkeiten seiner Abnahmegäste stets die zufällige Situation zu beherrschen weiß.

Wie bereits erwähnt, ist es eine wichtige Aufgabe des Lieferanten, vor Fabrikationsbeginn Klärung aller schwebenden Fragen herbeizuführen; denn später wird es aussichtslos sein, den Abnahmebeauftragten, der meistens von den mündlichen oder schriftlichen Auftragsverhandlungen nichts weiß, von der Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit der Aufrechterhaltung mancher Vertragspunkte zu überzeugen. Ebenso gefährlich und zwecklos ist es, nach Feststellung der Ergebnisse in eine lebhafte Erörterung darüber einzutreten, ob ein Werkstoff als brauchbar oder unbrauchbar angesehen werden soll. Werden die Vorschriften durch die gewonnenen Prüfungsergebnisse nicht erfüllt, so wird durch die meisten Abnahmevorschriften der Abnehmer an diese gebunden sein. Sollte er dennoch Rücksichten üben wollen, dann sollte der Lieferant dafür Sorge tragen, daß er den Abnehmer nur selten in diese für ihn immer schwierige Lage bringt.

### 3. Einstiges und Gegenwärtiges in der Werkstoffabnahme.

In einer Zeit, als man noch die Bewährung oder Nichtbewährung der Werkstoffe abwarten konnte, war die rein praktische Erfahrung die beste Werkstoffprüfung. Man konnte sich mit der einseitigen Feststellung begnügen, daß ein Werkstück oder eine ganze Anlage einem bestimmten Zweck entsprochen habe und daher jeder Neubau wieder so ausgeführt werden könne. Andererseits ist es eine bevorzugte Tätigkeit des menschlichen Geistes, schon vor dem Erwerb eines Gegenstandes nach seinem tatsächlichen Wert und seiner besonderen Eignung zu fragen. Mögen ihm dazu auch die geeigneten Prüfmittel fehlen, so empfindet er in einer dem Erwerb vorangegangenen gründlichen Besichtigung eine wohltuende Beruhigung. Ein hohes Maß praktischer Erfahrung vorausgesetzt, wird die Besichtigung stets eine brauchbare Abnahmeprüfung bleiben, wenn sie durch andere bewährte Prüfmethoden eine Ergänzung erfährt.

Vor etwa 200 Jahren stellte Réaumur durch Zerschneiden von Biegeproben die ersten systematischen Festigkeitsversuche an, um eine klaffende Lücke in der Kenntnis der Werkstoffe auszufüllen. Gerade die Metalle gewährten ihm zu wenig Einblick in ihre Eigenschaften. Jung Siegfried mag recht getan haben, wenn er sein neu geschmiedetes Schwert vor dem Gebrauch auf seine Haltbarkeit praktisch prüfte; desto mehr wird man dem Zeitalter der Technik eine genaue Prüfung

der Werkstoffeigenschaften zubilligen müssen. Die Öffentlichkeit verlangt Garantien für die Sicherheit technischer Anlagen. Dieser Anlaß zu Abnahmevorschriften verpflichtete Behörden, Körperschaften und sonstige Stellen, eingehende Eignungsprüfungen vorzunehmen. Zwar mögen solche Abnahmeprüfungen an Werkstoffen die Sicherheit einer Anlage nicht gewährleisten, sondern nur eine Bestätigung oder Kontrolle der durch eingehende Versuche erforschten Eigenschaftswerte des Baumaterials einer Lieferfirma darstellen, aber ihr allgemein erzieherischer Wert ist nicht zu unterschätzen.

Um für eine technische Gesamtanlage ausreichende Sicherheitsfaktoren zu gewinnen, sind verschiedene Wege eingeschlagen worden. Zunächst versuchte man, solche Prüfungen an Anlagen oder deren einzelnen Teilen auszuführen, die ihrer wirklichen Beanspruchungsart entsprechen. So werden Hohlkörper, Gefäße, Kessel durch eine Wasserdruckprobe Beanspruchungen ausgesetzt, die aus Sicherheitsgründen weit über die Betriebsbeanspruchungen hinausgehen. Brücken, Waagen u. dgl. werden Belastungen unterworfen, die rechnerisch als höchste Belastungen auftreten. Stahlgußstücke läßt man aus bestimmter Höhe auf harte Unterlage fallen, um innere Spannungen oder verborgene Inhomogenitäten festzustellen. Bei Werkstücken, deren Höchstbeanspruchungen unkontrollierbar sind, pflegt man die Prüfung, wenn sie eine Massenabnahme ist, bis zum Bruch durchzuführen. Achsen, Radreifen, Bremsklötze werden unter den wuchtigen Schlägen eines Fallhammers bei genauen Messungen zerstört.

## 4. Die Probeentnahme.

Eine der wichtigsten Abnahmehandlungen ist die Probeentnahme. Nicht nur deshalb, weil sie eine urkundliche Bestätigung darstellt, sondern weil in der Hauptsache von ihr das Gelingen der Werkstoffabnahmeprüfung überhaupt abhängt. Daher pflegen auch die Abnahmevorschriften dieser Grundlage jeder Abnahme besondere Bedeutung beizumessen. Es dürfte deshalb von allgemeinem Interesse sein, die Linien zu zeichnen, in deren Richtung sich die Probeentnahme bewegen soll.

In rein wissenschaftlicher Hinsicht müßten zur genauen Bestimmung wichtiger Eigenschaften mehrere Proben herangezogen werden, da der Wert von Einzelversuchen durch eine große Anzahl das Ergebnis beeinflussender Faktoren fraglich erscheint. Mit Rücksicht auf diese Tatsache werden auch grundlegende, wissenschaftliche Versuche nur so ausgeführt, daß möglichst alle Zufälligkeiten ausgeschaltet sind.

In der Abnahmepraxis begnügt sich der Abnehmer mit den aus Einzelversuchen gewonnenen Eigenschaftswerten. Es hat sich gezeigt,

daß man damit auskommt und nur in Ausnahmefällen durch Ersatz- oder Kontrollproben das zuerst festgestellte Ergebnis geändert oder bestätigt wird.

### a) Die Vorbereitung.

Um Mißhelligkeiten vorzubeugen, ist die in allen Bedingungen geforderte Vorbereitung zur Anstempelung unerläßlich. Wird ein Abnehmer zu einem bestimmten Termin eingeladen, so muß dies so frühzeitig geschehen, daß er nicht alle von ihm getroffenen Dispositionen umzuwerfen braucht. In den verschiedenen Abnahmevorschriften sind 3 bis 10 Tage als Termin für die Abnahmebehandlung vorgesehen. Den Lieferanten ist eine derartig frühzeitige Aufforderung zwar unbequem, aber ein gegenseitiges verständnisvolles Entgegenkommen pflegt bald die vermeintlichen Hindernisse fortzuräumen.

Ein für seine Tätigkeit unentbehrliches Erfordernis ist für den Abnahmebeamten die Zustellung eines Abnahmeverzeichnisses von seiten des Werkes, das etwa folgende Auskünfte zu umfassen hat: Besteller, Bestell-Nr. (auch Schiffs-Maschinen-Kessel-Nr. oder Verwendungszweck) Werkstoffart, Chargen-Nr. (eventuell Hersteller des Werkstoffes), theoretisches Gewicht der abzunehmenden Menge oder des Stückes, sowie Art der Wärmebehandlung. Bei häufigeren Abnahmen wird man zweckmäßig entsprechende Vordrucke anfertigen, welche die notwendige Übersicht erhöhen. Ist der Abnehmer durch ein solches Verzeichnis über alle für seine Tätigkeit wichtigen Punkte unterrichtet, so darf er voraussetzen, daß er alle Werkstoffe übersichtlich in einem überdeckten hellen Raum zur ungehinderten Abnahme vorfindet.

Wichtig ist auch für die Vorbereitung, Werkstücke wie Bleche, Rundstangen, Schienen u. dgl. so zu beschneiden oder vorzuarbeiten, daß das Probestück genau nach Lage und Abmessung bestimmt werden kann und nicht ein als Abfall gedachter Teil zur Anstempelung gelangt. Wenn an Werkstücken wie Kesselblechen, Schraubenwellen, großen Motorenwellen die Eigenschaften am Kopf- und Fußende festzustellen sind, dann sind entsprechende Markierungen vorzusehen.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß vor jeder Probeanstempelung die endgültige Glühbehandlung erfolgt sein muß. Unter diesem Glühen kann natürlich nur ein solches über dem Ac 3 Umwandlungspunkt, also ein Normalisieren zu verstehen sein.

### b) Die Auswahl.

Alle Abnahmevorschriften betonen nachdrücklich, daß dem Abnahmebeauftragten die Auswahl der Probestücke überlassen bleiben müsse. Hiermit wird deutlich ausgedrückt, daß man ihn insbesondere

bei Mengenabnahmen nicht auffordern könne, Ausschußstücke oder sehr wenige angegossene oder angeschmiedete Proben, dem Zwange nachgebend, als Versuchsstücke anzuerkennen. Bei solchen Massenartikeln, die selbst oder deren Abschnitte ohne Schwierigkeit und Verlust für den Hersteller als Proben verwendet werden können, ist die Probeentnahme recht einfach. Peinlich wird die Situation für den Abnehmer, wenn man ihm ein vom Hersteller für die Abnahme vorher bestimmtes Probestück anbietet.

Über die Anzahl der Probenträger gleichartiger oder gleich großer Werkstücke mag oftmals diskutiert worden sein; allein eine beiderseitig befriedigende Lösung kann nur erzielt werden, wenn sich der Lieferant entschließt, kleinere Werkstücke, wenn sie dazu geeignet erscheinen, für Probezwecke zu opfern und Werkstücke von größerem Gewicht überhaupt mit Proben zu versehen. Die Probestücke selbst sollen den mittleren Wandstärken des dazugehörigen Werkstückes entsprechen.

### c) Die Probestempelung.

Es versteht sich von selbst, daß angeschmiedete oder angegossene Proben ohne Erlaubnis des Abnehmers nicht von dem dazugehörigen Stück abgetrennt werden dürfen. Geschieht dies dennoch irrtümlich oder mit Wissen des Abnehmers, so muß der Bruch oder Sägeschnitt gut erhalten bleiben, um die Identität mit Sicherheit nachweisen zu können. Werden Grauguß- oder Stahlformgußprobestäbe gesondert gegossen, so ist dem Abnehmer Gelegenheit zu bieten, beim Guß zugegen zu sein.

In vielen Abnahmevorschriften wird die Stempelung auf metallisch blanker Fläche gefordert. Demnach sollte, soweit dies vorher zu übersehen ist, eine entsprechende Vorbereitung in der Weise getroffen werden, daß alle Proben und Werkstücke auf einer mit Feile oder Meißel bearbeiteten Stelle die Chargen- oder Schmelzungs-Nr. erhalten. Diese an sich scheinbar nach Mißtrauen aussehende Maßnahme müßte von jedem Lieferer begrüßt werden, da ihm unangenehme Verdächtigungen erspart bleiben. Eine Stempelung auf einer dicken Glüh- oder Walzhaut kann sehr leicht ganz oder teilweise verschwinden. Zur näheren Erläuterung sei noch die Vorschrift einer Behörde erwähnt: „In eine blank gehauene Stelle der Probe ist ein 6 mm großes und tiefes Loch zu bohren, dies mit einem Bleipfropfen auszufüllen, der allseitig mit dem übrigen Material in eine Ebene zu schlagen ist. Diese Stelle dient zur Aufnahme des Stempels.“ Wenn nun auch der mit der Probestempelung Beauftragte meistens von diesem Recht oder gar Pflicht keinen Gebrauch macht, so sollte es eine gern geübte Vorsorge der Lieferanten sein, alle das gegenseitige Vertrauen störende Vorkommnisse fernzuhalten.

### d) Die Lage der Probe.

Die Ergebnisse einer mechanisch-technologischen Prüfung sind nicht zuletzt von der Probelage im oder am Werkstück abhängig. Die Wahl der Probelage ist nun freilich nicht dem Ermessen des Lieferanten oder Abnahmebeauftragten anheimgestellt, sondern ist zumeist unabweisbar in den Abnahme- oder Auftragsbedingungen angegeben. Wenn aber der Probesitz deutlich bestimmt ist, dann pflegen in der Regel auch die Werkstoffvorschriften hierauf entsprechend Rücksicht zu nehmen.

Da ein Stahlgußstück nach denselben kristallographischen Gesetzen erstarrt, wie ein für Schmiede- oder Walzzwecke bestimmter Gußblock, so befinden sich im Innern des zuletzt erstarrenden, dickwandigeren Teiles Anhäufungen von Verunreinigungen, auch Hohlräume. Eine Probe aus diesem Querschnittsbereich kann nie die tatsächlichen Eigenschaften eines Stahles wiedergeben. Den Besteller dürfte es nun kaum interessieren, welche Materialeigenschaften der innere, wenig beanspruchte Kern eines Stückes aufweist. Er will vielmehr die mittleren Eigenschaften der auf Biegung, Druck, Verdrehung und Schwingung hochbeanspruchten äußeren Zonen kennen lernen. Unter diesem Gesichtspunkte kann der Lieferant niemals in die Probeentnahme aus den Kernzonen dickwandiger Stahlformguß- oder Graugußstücke einwilligen (Abb. 70).

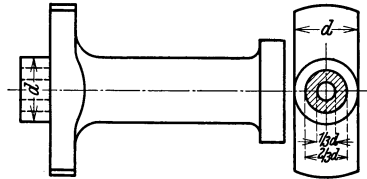


Abb. 1. Probeentnahme aus dem mittleren Drittel eines Kolbenstangenquerschnittes.

Um mittlere Werte zu gewinnen, trifft man nicht selten bei Aufträgen auf geschmiedete Schub-, Kolbenstangen und Wellen die Sondervorschrift für Probeentnahme, ein Versuchsstück aus der zweiten Zone des in drei Zonen eingeteilten Probestückes auszubohren oder abzudrehen (Abb. 1).

Wenn auch die Zahlenwerte dieser aus dem mittleren schraffierten Drittel entnommenen Proben gegenüber dem äußeren Drittel nur geringe Einbuße erleiden (Zahlentafel 1), so dürfte demgegenüber doch die Probeherstellung eine wesentliche Verteuerung bedeuten.

Man weiß, daß sich die im Innern eines Gußblockes auftretenden Entmischungen weder durch Glühen noch durch Schmieden beseitigen

Zahlentafel 1. S.M.-Stahl, gegläht.

	Zugfestigkeit in kg/qmm	Dehnung in % 5 d	Kerbzähigkeit m/kg/qcm	Werkstoff
Äußeres Drittel	58,5	26,5	7,3	A
Mittleres Drittel	56,0	26,2	6,4	
Äußeres Drittel	65,8	19,0	4,0	B
Mittleres Drittel	63,4	19,3	4,2	

lassen. Ja, es wird durch Strecken, Walzen u. dgl., je nach dem Grad der Verarbeitung die Einlagerung von Verunreinigungen zu Faserbündeln desto deutlicher geformt. Nicht selten wird diese Faserbildung durch entsprechende Gleichlagerung der Kristalle zu den verunreinigenden Bestandteilen noch wirksamer ausgeprägt. Man hat es dann mit der gefähr-

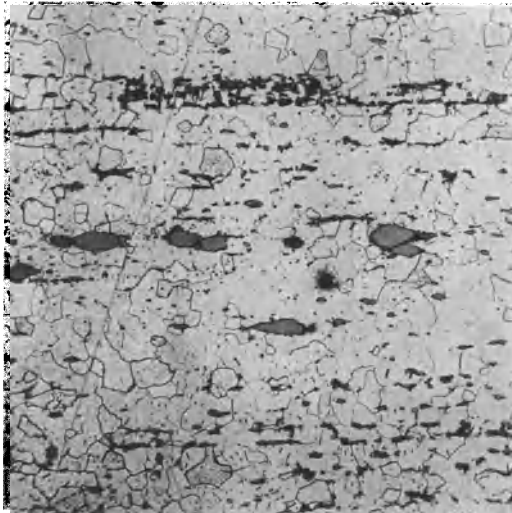


Abb. 2. Ein kohlenstoffarmer Stahl, große in Zeilen angeordnete Schlacken, die bei Beanspruchung quer zur Zeile den Bruch des Werkstücks herbeiführen.

200 ×

lichen Art mikroskopisch und makroskopisch sichtbarer Zeilenstruktur zu tun, die sämtliche Eigenschaften des Werkstoffes in der Querfaser ungünstig beeinflusst, auf jeden Fall starke Streuungen hervorruft. Es sei allerdings zugegeben, daß die Unterschiede in der Quer- und Längsbeanspruchung bei erstklassigem weichem Werkstoff kaum merklich auftreten, aber um so krasser wirken sie sich mit steigender Zunahme des Kohlenstoffes oder einer anderen Legierung, auch in Schweißseisen aus (Abb. 2).

Diesen Erfahrungen gemäß begnügen sich viele Abnahmevorschriften mit 15 bis 30 % niedrigeren Eigenschaftswerten bei Proben quer zu Faser.

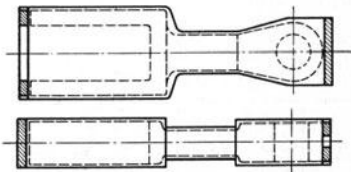


Abb. 3. Probeentnahme quer zur Schmiedefaser an den beiden Enden einer Schubstange aus der Randzone entnommen.

Merkwürdig ist jedoch, daß die technologischen Proben, etwa die Biegeprobe, keine Bedingungsmilderung erfahren. Wenn die Querprobe wie in Abb. 3 aus der Randzone entnommen wird, sind die geforderten Eigenschaften ohne erhebliche Schwierigkeiten zu erreichen; liegt sie aber im zweiten Drittel oder gar in der Kernzone großer Schmiedestücke,

können unberechenbare Ausfälle vorkommen (Abb. 4 und 5).

Ähnlich werden auch die Proben aus ballenartigen Werkstücken, wie Plunger, Rotoren, Induktoren, Turbinenläufern oder Scheiben, entnommen (Abb. 6 und 7). Hier zeigt sich das besondere Bestreben, eine tangential oder radial gerichtete Probe so weit wie möglich nach dem Balleninnern zu legen, um Mindestwerte festzustellen. Dies ist leicht verständlich, wenn man überlegt, daß durch den schroffen Über-

gang von der Welle zum Ballen oder am Grunde tief liegender Nuten jeder Abfluß hoher Spannungen unmöglich gemacht wird. Es bestehen zwar qualitative Unterschiede zwischen tangential oder radial entnommenen Proben, doch sind diese meistens zahlenmäßig nicht sicher zu erfassen (Zahlentafel 2, S. 10).

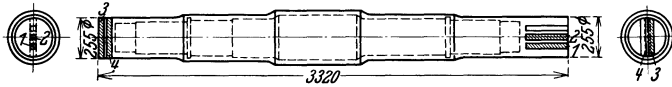


Abb. 4. Probeentnahme aus den Wellenenden eines Wellenschafte. Je eine Zug- und Kerbschlagprobe und zwar längs 1 und 2 und tangential 3 und 4 nach Zeichnung. Die Tangentialwerte wurden den Längsprobewerten gegenüber um 20% herabgesetzt.

Aber auch die Legierungsbestandteile eines Stahles wie Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel und andere Elemente reichern sich im Blockinnern an. Diese Anreicherungen, Seigerungen, die bei der Verarbeitung des Blockes erhalten bleiben, machen je nach Verteilung und

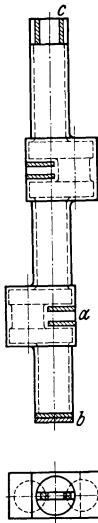


Abb. 5. Probeentnahme  
a quer; b tangential;  
c längs zur Faser aus  
dem mittleren Drittel.

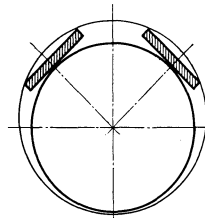


Abb. 6. Probeentnahme von kreisrunden, flachen Werkstücken. Die tangential entnommenen Proben liegen noch in der günstigeren Außenzone.

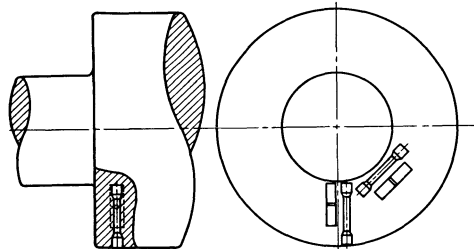


Abb. 7. Probeentnahme aus einem Rotor, radial und tangential, dicht am Nutengrund.

Menge einen erheblichen Teil des Werkstücksinnern aus. Bei der Probeentnahme wird daher die Seigerungszone insbesondere bei Walzmaterial, wie Rundeisen, Profilen, Blechen usw. berücksichtigt. Wenn es die Querschnittsverhältnisse zulassen, werden Proben aus der ganzen Blechstärke oder dem ganzen Stangenquerschnitt entnommen. Werden aber aus Stücken größeren Querschnittes Zerreiß- oder Stauchproben geringeren Querschnittes gearbeitet oder aus dicken Blechen durch

Zahlentafel 2. Verhältnis radial zu tangential entnommenen Proben nach Abb. 6 und 7.

	Streckgrenze kg/qmm	Festigkeit kg/qmm	Dehnung %	Kontraktion %
1. T . .	26,0	52,6	25,0	29,0
R . .	26,8	52,6	28,4	42,0
2. T . .	24,5	47,3	18,6	26,0
R . .	27,7	48,0	20,5	30,0
3. T . .	26,0	49,0	22,0	25,5
R . .	26,4	49,3	24,0	33,5

beiderseitiges Abhobeln Proben hergestellt, so werden häufigere Fehlergebnisse die unausbleibliche Folge sein; denn die stark geseigerte Kernzone ist durch die andersartige chemische Zusammensetzung weniger verformungsfähig als die Außenzone. Einseitiges Bearbeiten wäre

ein gangbarer Weg, die mittleren Eigenschaften festzustellen (Abb. 8 und 9).

Bei Bestellungen auf vergütete Wellen, Rotoren und andere massige Werkstücke vermißt man in der Regel die ausdrückliche Bestimmung

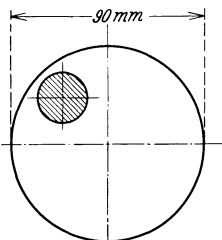


Abb. 8.

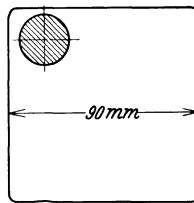
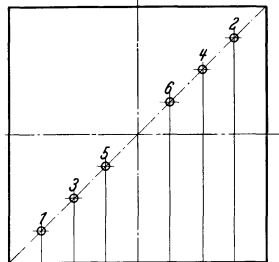


Abb. 9.

Abb. 8 und 9. Belage in vergüteten Rund- und Vierkantstangen im äußeren Drittel bzw. 10 mm vom Rande.

über die Probelage. Da das Maß der Eigenschaftsänderungen in den verschiedenen Querschnittsbereichen eines vergüteten Werkstoffes außerordentlich groß ist, kann eine Bewertung der Versuchsergebnisse ohne nähere Angaben über Probesitz nur fraglich erscheinen. Die Abb. 10 zeigt schon bei diesem verhältnismäßig geringen Querschnitt von 120 mm einen auffallenden Steilabfall der Festigkeitseigenschaften der Probe 5 und 6, der nur auf die von außen nach innen abfallende Vergütungswirkung zurückzuführen ist. Dieser erhebliche Steilabfall zwischen Rand und Kern setzt bei Siemens Martin-Stahl im Gegensatz zum Chrom-Nickelstahl noch dichter nach dem Rande zu ein. Hieraus geht deutlich hervor, daß Proben



	15	30	45	60	45	30	15mm v. Rande
Cr-Ni-Stahl (0,25C, 2,2Ni, 0,8Cr)	$\sigma_{02}$ 81	78	69		69	77	80 kg/mm <sup>2</sup>
	$\sigma_s$ 70	64	59		57	64	" "
S.M.-Stahl	$\sigma_{02}$ 71	65	55		55	64	" "
(0,40C, 0,70Mn)	$\sigma_s$ 51	48	43		42	48	" "

Abb. 10. Abfall der Festigkeit und Streckgrenze von außen nach innen zweier vergüteter Stähle verschiedener chemischer Zusammensetzung.

nur dann über die Eigenschaften eines vergüteten Stahles aussagen können, wenn sie noch in dem von der Vergütung erfaßten Querschnittsbereich liegen.



Werden Proben unmittelbar aus den Wandungen eines Graugußstückes entnommen, so ist die mittlere Wanddicke zu wählen, weil nach Abschnitt 37 nur so die Durchschnittsfestigkeit ermittelt werden kann. Angegossene Probestücke oder Probeleisten müssen der mittleren Wandstärke entsprechen. Es dürfte allgemein bekannt sein, daß vom Werkstück getrennt gegossene Proben derselben Schmelze nicht immer auf die Eigenschaften des Gußstückes rückschließen lassen. Zur Herstellung solcher Proben ist stets mit dem Besteller bzw. Abnehmer eine vorherige Vereinbarung notwendig.

## 5. Proberstellung.

Wenn die meisten Abnahmevorschriften besonderen Wert auf die einwandfreie Proberstellung legen, so geschieht dies zunächst im Interesse der Hersteller. Indes will man auch etwaige Entschuldigungen und Einwände von vornherein ausschalten. Fest steht — will man nicht das tatsächliche Bild von den Zuständen und Eigenschaften eines Werkstoffes verwischen — daß die vorschriftmäßige Bearbeitung und Probeform eingehalten werden müssen.

Die Herstellung wird in der Regel in kaltem Zustande vorgenommen. Das ist natürlich für die Erhaltung der Eigenschaften des Werkstoffes sehr wichtig. Aber auch die kalte Bearbeitung der Probe­stäbe kann schon unter Umständen die Werkstoffeigenschaften wesentlich beeinflussen. So wird ein Scherenschnitt zwecks Probenahme an Blechen von mehr als 20 mm Dicke das Material so stark verzerren, daß eine beachtliche Verfestigung erfolgt. Mit der Verfestigung sind nicht gewollte Eigenschaftsänderungen verbunden. Selbstverständlich ist die Bearbeitung der Schnittflächen aller durch Scherenschnitt gewonnenen Probestreifen stets erforderlich, da sie zu Kerbwirkungen neigen. Zugversuche würden an solchen Proben zu vorzeitigem Bruch und Biegeproben zu Anrissen führen. Die Fertigbearbeitung hat auf kaltem Wege zu geschehen damit jegliche Gefügeänderungen vermieden werden. Die Beeinflussungen sind besonders empfindlich, wenn Proben aus harten oder vergüteten Stählen zur Verarbeitung gelangen. Werden Probestreifen durch Sandstrahlgebläse von Rost oder Glühspan befreit, so ist eine große Körnung und ein zu scharfes Auftreffen wegen der Härtewirkung zu vermeiden.

Soweit die Probestücke warm verarbeitet werden, ist besondere Vorsicht geboten, da dann Werkstoffzustände auftreten können, die mit dem zur Abnahme gestellten Werkstoff nur noch wenig gemein haben. Wenn etwa einzelne Abnahmevorschriften das Abtrennen von Probestücken mit Hilfe eines Schneidbrenners gestatten, so wird dabei vorausgesetzt, daß die durch das Brennen beeinflusste Zone vom

Probestab entfernt ist. Je nach Art der Apparatur werden die ungünstigen Brennwirkungen sich auf 5 bis 20 mm erstrecken. Sollen

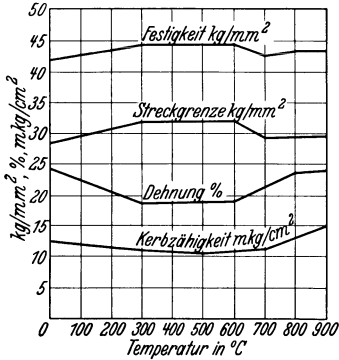


Abb. 11. Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften von der Temperatur, bei der das Geraderichten erfolgte.

Ringabschnitte von Rohren, also quer zur Walzrichtung, entnommen werden, so werden sie nach einigen Vorschriften „warm gerade gebogen“. Hierbei ist zu beachten, daß die Temperatur mindestens 800° beträgt, weil sonst reichliche Dehnungsverluste entstehen (Abb. 11).

So wurden z. B. Rohrabschnitte in den Temperaturen kalt und zwischen 300 und 900° gerade gebogen. Hierbei zeigte sich, daß zwar die Kerbschlagarbeit nur wenig verringert wird, dagegen sich im Zugversuch die Kaltverformung in erheblicher Festigkeitsänderung auswirkt (Abb. 11).

Wird ein Versuchsstab wie in Abb. 13 in der mittleren Zone einer parallelen Versuchslänge im Querschnitt vermindert, so wird die Dehnung

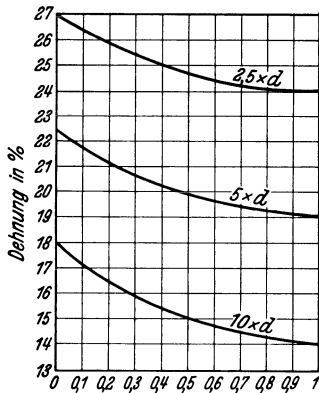


Abb. 12.

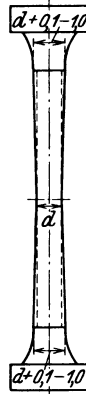


Abb. 13.

Abb. 12 und 13. Beeinflussung der Dehnung durch Verminderung des Durchmessers des mittleren Stabteiles um 0,1–1,0 mm. Hierbei wird ein Versuchsstab von 20 mm vorausgesetzt. Werkstoff: St. 38 : 13.

wesentlich dann beeinflußt, wenn die Verminderung etwa mehr als 0,05 mm beträgt (Abb. 12). Um also den Bruch in das mittlere Drittel eines Probestabes zu legen, gehe man nicht über einen größeren Querschnittsunterschied hinaus.

Eine besondere Beachtung verdient die Herstellung von Proben aus dünnen Blechen. Die Proben, welche die unten besprochene Form haben müssen, sollten nicht gestanzt werden oder durch Scherenschnitt ihre Form erhalten, sondern möglichst

mehrere zugleich nach oder gar mit Schablone bearbeitet werden. Der Grat an den Kanten ist durch Schlichten zu entfernen.

## 6. Probeabmessungen.

Die Abmessungen der Probestäbe unterliegen besonderen Vereinbarungen. Zum Teil sind diese in den Vorschriften genau festgelegt

(Abschnitt 52). Die Form des Probestabes muß einer bestimmten Norm entsprechen. So haben Länder, Behörden und Klassifikationsgesellschaften ihre eigenen Normalstäbe. Der in Deutschland in den Deutschen Industrienormen eindeutig angegebene Normalstab ist in Abb. 14 als Rund-, in Abb. 15 als Flachstab wiedergegeben. Der Normalrundstab hat 20 mm Dmr., demnach einen Querschnitt von 314 mm<sup>2</sup>. In bezug

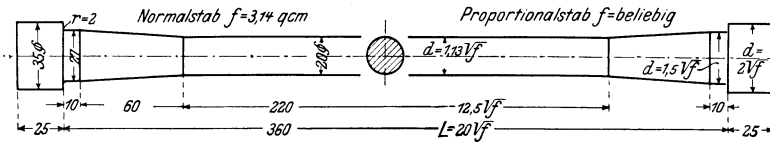


Abb. 14. Normalrundprobestab.

auf den Normalflachstab ist dagegen ein weiter Spielraum gelassen. Nun kann allerdings die Dicke und Breite eines solchen Flachstabes nicht beliebig gewählt werden, sondern der Stab muß, da es sich um Blech- bzw. Rohrproben handelt, auf den beiden Außenseiten in der Regel die Walzhaut behalten, so daß damit sein Seitenverhältnis gegeben ist. Hierbei sollte aber stets die Breite mindestens gleich der Dicke des

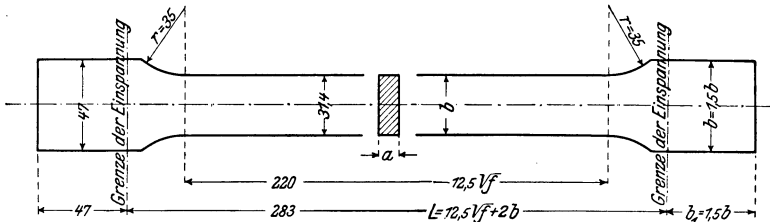


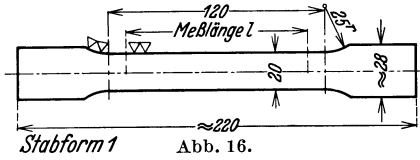
Abb. 15. Normalstab für Flachproben.

Probestabes sein, um das Verhältnis des unter der Walzhaut liegenden besseren Werkstoffes in das richtige Verhältnis zur verseigerten Zone zu bringen. Die Meßlänge des Normalstabes beträgt 200 mm. Sind nun freilich die Bleche sehr dünn, so dürften bei breiten Stäben unerwünscht ungleichmäßig verteilte Spannungen entstehen, so daß die inneren Fasern zuerst und dann nach außen verlaufend zu Bruch gehen. Die Blechwalzwerke schreiben als größte Breite für Kesselblechproben vor:

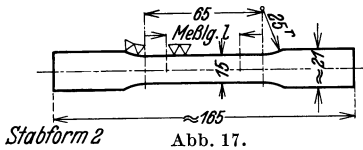
- Bei Blechen bis 10 mm Dicke höchstens 60 mm,
- „ „ über 10 mm bis 25 mm Dicke höchstens 50 mm,
- „ „ „ 25 mm Dicke höchstens 40 mm.

Wenn nicht genügend Werkstoff für Normalstäbe zur Verfügung steht, dann pflegt man den nach DIN vorgesehenen kurzen Normalstab anzuwenden. Er hat eine geringere Meßlänge, nämlich 100 mm. Ist auch die Materialdicke nicht vorhanden, dann wird der Proportionalstab gewählt. Er kann nach DIN ein langer oder kurzer

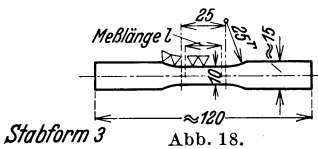
Proportionalstab sein. Die Meßlänge errechnet sich dann wie bei den Normalstäben zu  $l = 11,3 \sqrt{f}$  bzw.  $l = 5,65 \sqrt{f}$ . Hierbei ist allerdings zu erwähnen, daß geringere Abmessungen nicht ohne Not gewählt werden sollten, weil sich in ihnen irgendwelche Materialfehler stärker auswirken als in den Normalstäben. Bleche von 0,2 bis 5 mm Dicke verdienen besondere Aufmerksamkeit, weil



Stabform 1 Abb. 16.



Stabform 2 Abb. 17.



Stabform 3 Abb. 18.

Abb. 16, 17 u. 18. Probeformen für dünne Bleche.

Maße in mm

Blechdicke	Stabform Abb.	Stabbreite	Versuchslänge	Meßlänge l
0,2 bis unter 0,5	18	10	25	20
0,5 bis unter 0,75	17	15	65	30
0,75 bis unter 1				40
1 bis unter 1,5				50
1,5 bis unter 2	16	20	120	60
2 bis unter 3,5				80
3,5 bis unter 5				100

Stahlblech (Feinblech) nach DIN 1623 wird nur bis herab zu 0,8 mm Dicke geprüft; hierfür gelten folgende Probestäbe:

Maße in mm

Blechdicke	Stabform Abb.	Stabbreite	Versuchslänge	Meßlänge l
0,8 bis unter 1,5	16	20	120	50
1,5 bis unter 2				60
2 bis unter 3				80

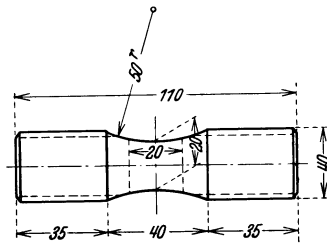


Abb. 19. Probestab für Gußeisen.

die Prüfergebnisse sehr stark streuen, wenn nicht bestimmte Probeformen innegehalten werden. Es sei auf den Vorschlag des DVM<sup>1</sup>, dessen Probeformen in Abb. 16, 17 und 18 wiedergegeben sind, hingewiesen.

Für Gußeisen gilt ein Stab ohne Meßlänge, zumeist in der Form der Abb. 19. Nach DVM werden sich für einen Probestab von 20 mm die eingezeichneten Abmessungen ergeben.

## 7. Der Zugversuch.

Der Zugversuch (auch Zerreißversuch) ist in seiner Durchführung eine einfache, aber in seinen Ergebnissen vielsagende Prüfung an metallischen Werkstoffen. Er erscheint deshalb auch für Abnahmen besonders geeignet, obgleich seine Bedeutung für die Erforschung von Werkstoffeigenschaften von Festigkeitstheoretikern stark angezweifelt

<sup>1</sup> DVM = Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik.

worden ist. Wenn auch durch den Zugversuch das Verhalten der Werkstoffe in einer Konstruktion nicht unmittelbar erkannt werden kann, so werden doch einige Grundeigenschaften mit solcher Genauigkeit aufgedeckt, daß die gewonnenen Zahlenwerte dem Konstrukteur als Berechnungsgrundlage für die zulässigen höchsten Beanspruchungen dienen können.

Als Zugfestigkeit  $\sigma_B$  gilt der höchste Widerstand, den ein Probestab der Trennung seiner einzelnen Teile durch eine allmählich gesteigerte Zugbelastung entgegensetzt. Die erforderliche Belastung  $P_B$  wird in der Regel in kg gemessen und auf den ursprünglichen Stabquerschnitt  $F_0$  in  $\text{mm}^2$ , seltener in  $\text{cm}^2$  bezogen. In England wird die Höchstlast in tons (t) und der Stabquerschnitt in square inches (Quadratzoll) ausgedrückt (Abschnitt 53, Umrechnungstabellen). Die Vereinigten Staaten rechnen immer noch nach pound (lb).

Wenn eine Stahlsorte nicht durch die chemische Analyse gekennzeichnet wird, pflegt man die Zugfestigkeit zahlenmäßig in  $\text{kg/mm}^2$  anzugeben. Englische oder amerikanische Verträge werden entsprechend ihrer landesüblichen Bezeichnung auf tons per inch<sup>2</sup>. bzw. lb. per sq. inch. lauten. Manchmal findet man noch als Angabe für den Widerstand eines Werkstoffes die technische Atmosphäre =  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Bei allen diesen Berechnungen wird allerdings vorausgesetzt, daß der zu berechnende Querschnitt eines Probestabes vollkommene stoffliche und kristalline Gleichheit besitzt. Bedenken nach dieser Richtung hin dürfen bei der Werkstoffabnahme nicht auftreten, da sonst jeder praktische Zugversuch fraglich erscheinen muß.

### a) Versuchsdurchführung im Spannungs-Dehnungschaubild.

Ein nach bestimmter Abmessung und Form gewählter Probestab wird in eine Zerreißmaschine so eingespannt, daß er einer allmählich wachsenden, achsial wirkenden Belastung ausgesetzt werden kann. Die bei der Durchführung dieses Versuches entstehenden Veränderungen des Stabes bieten ein

brauchbares Kriterium des zu prüfenden Werkstoffes und werden daher genau beobachtet. Die prüfungstechnische Beobachtung erstreckt sich neben der dauernden Laständerung insbesondere auf die mit optischen

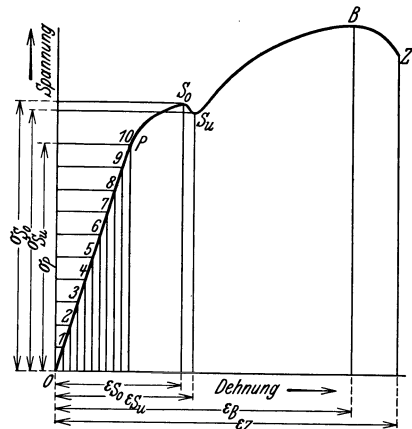


Abb. 20. Spannungs-Dehnungschaubild (schematisch).

und mechanischen Meßinstrumenten ablesbaren geringsten Längenänderungen elastischer und plastischer Natur, auf die Oberflächenänderungen und Spannungsunterbrechungen der Streckgrenze und endlich auf die Gesamtdehnung und Querschnittsverminderung nach Überschreitung der Bruchlast. Aus der Beziehung von Laständerung zur Formänderung entsteht das Spannungs-Dehnungsschaubild (Abb. 20). Bei spröden Stoffen mit geringer elastischer Dehnung kann nur die Höchstlast mit Sicherheit ermittelt werden.

### b) Die Proportionalitätsgrenze.

Belastet man einen flußeisernen Probestab allmählich steigend bis zum Punkte  $\sigma_P$ , so entspricht diese Belastung einer Spannung, bis zu welcher zwischen ihr und der vorhandenen Stabverlängerung an allen beliebigen Punkten zwischen 1 und 10 vollkommene Proportionalität herrscht (Abb. 20). Die Grenze, an der nach dem Proportionalitätsgesetz gleichen Spannungen gleiche Dehnungen nicht mehr entsprechen, wird als Proportionalitätsgrenze  $\sigma_P$  bezeichnet. In Betrachtung des Spannungs-Dehnungsschaubildes könnte man auch sagen, daß die Proportionalitätsgrenze dann als erreicht angesehen werden muß, wenn die Spannungslinie  $O-S$  von der Geraden abweicht, und zwar nach Goerens 0,025% der linearen Beziehung zwischen Spannung und Verlängerung. Wawrziniok sieht die Proportionalitätsgrenze dort eintreten, wo die Verlängerung für 100 kg/cm<sup>2</sup> um mehr als 0,0005% der Meßlänge vom Mittelwert der vorausgegangenen Dehnung abweicht. Für die Abnahmepraxis ist die  $\sigma_P$ -Grenze keineswegs von untergeordneter Bedeutung; da in- und ausländische Besteller nicht selten ihre Feststellung verlangen. Wenn auch diese Versuche mit Feinmeßinstrumenten (s. Abschnitt 8) durchgeführt werden müssen, so fällt doch das lästige Be- und Entlasten fort, da es sich hier um das rein elastische Spannungsgebiet handelt, also nach bleibenden Dehnungen nicht gefragt wird. Geschieht dies aber dennoch, dann haben wir es mit der für die Werkstoffabnahme weniger wichtigen Elastizitätsgrenze  $\sigma_E$  zu tun, die zumeist in die Nähe der  $\sigma_P$ -Grenze fällt. Die  $\sigma_E$ -Grenze gilt dann als erreicht, wenn ein geringer bleibender Formänderungsbetrag, der sich je nach Auffassung zwischen 0,003 und 0,05% der Meßlänge eines Stabes bewegt, gemessen wird.

Nun liegen diese zwar international bekannten Definitionen der besprochenen Spannungspunkte nicht immer so eindeutig in den Abnahmebedingungen vor. Mögen auch die österreichischen Normen und die englischen B.E.S.A.<sup>1</sup>-Vorschriften den obigen deutschen Auffassungen entsprechen, so verstehen doch die Abnahmevorschriften in den bekanntesten technischen Ländern stets etwas anderes unter  $\sigma_P$  und  $\sigma_E$ . Die mit

<sup>1</sup> B.E.S.A.-Vorschriften = British Engineering Standards Association.

großer Sorgfalt durchgearbeiteten und viel verwendeten Vorschriften der „American Society for Testing Materials“ sehen den Spannungspunkt als  $\sigma_P$ -Grenze an, in dem die ersten bleibenden Formänderungen nach Entlastung auftreten; die  $\sigma_E$ -Grenze (Elastic limit), die hier als Abnahmebedingung aufgenommen ist, wird als erreicht festgestellt, wenn eine bleibende Dehnung von 0,0002 Zoll vorhanden ist. Da in Frankreich unter Proportionalitäts- bzw. Elastizitätsgrenze dasselbe verstanden wird, wie in Deutschland unter Streckgrenze, so sind damit Meinungsverschiedenheiten bei der Abnahme Tor und Tür geöffnet. Nun ist es zwar so, daß die deutschen Definitionen eine schärfere Prüfungsnorm darstellen als die meisten ausländischen Vorschriften unter  $\sigma_P$  und  $\sigma_E$  verstehen; aber es kann doch geraten werden, bei Entgegennahme eines Auftrages die Begriffe festzulegen.

### c) Die Streck- oder Fließgrenze.

Eine der merkwürdigsten Erscheinungen in der Werkstoffprüfung ist das Strecken oder Fließen mancher Werkstoffe. Die täglichen Beobachtungen führen uns zu der wichtigen Erkenntnis, daß etwa ein Messer,

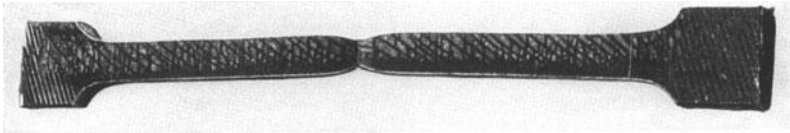


Abb. 21. Streckgrenzenerscheinung in der Art der Hartmannschen Linien, die hier durch Abplatzen der Walzhaut unter einem Winkel von  $45^\circ$  beobachtet werden. Sie stellen dasselbe wie die Fryschen Kraftwirkungslinien dar.

Nagel, eine Brechstange u. dgl. bis zu einer gewissen Höhe trotz elastischer Verformungen beansprucht werden dürfen, eine Überbeanspruchung jedoch nur unter plastischer Formänderung der Werkstücke ertragen wird. Dies ist dasselbe, was man in der Praxis mit Überschreiten der Streckgrenze ( $\sigma_S$ ) bezeichnet.

Erhöht man die Belastung eines Probestabes über die Proportionalitäts- oder Elastizitätsgrenze hinaus, dann wird bald eine Spannung erreicht, bei der die Dehnung außerordentlich zunimmt. Obgleich der Antrieb der Zerreißmaschine unverändert bleibt, wird in den typischen Fällen zunächst eine Spannungssteigerung nicht beobachtet. Der bis dahin wirkende Formänderungswiderstand hat sich plötzlich vermindert und die weitere maschinelle Kraft wird für die Verformungen, Längsdehnungen reichlich aufgezehrt, bis das erste außerordentliche Fließen beendet ist. Während man sich bis zur Streckgrenze ( $\sigma_S$ ) geeigneter Feinmeßinstrumente zur Beobachtung irgendwelcher Veränderungen bedienen mußte, treten jetzt eine Anzahl äußerer und innerer Merkmale auf, die den Beginn bedeutungsvoller

Veränderungen ankündigen. Ins Auge fallend sind die Aufrauungen oder das Mattwerden blanker Staboberflächen, Bildung von Fließfiguren (Abb. 21), die sich unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Stabachse neigen, Abblättern von Walz- oder Glühhaut, die wegen ihrer Sprödigkeit dem Dehnen des darunter liegenden metallischen Werkstoffes nicht zu folgen vermag, schließlich die außergewöhnliche Dehnungszunahme ohne nennenswerten Spannungszuwachs.

Zumeist wird das plötzlich eintretende Mißverhältnis zwischen Spannung und Dehnung durch ein starkes Abfallen des Waagebalkens, Stehenbleiben oder gar Zurückgehen des Manometerzeigers der Prüfmaschine auffallen. In dem Gebiet der Streckgrenzenbildung macht die Spannungsdehnungskurve (Abb. 20) einen Knick, der so augenfällig ausgeprägt sein kann, daß es von Belang ist, die Höchststellung ( $S_o$ ) und die Rückgangsstellung ( $S_u$ ) entsprechend als obere und untere Streckgrenze zahlenmäßig festzulegen. Da jedoch die obere Streckgrenze leichter beeinflußt wird als die untere, entscheidet man sich rückhaltlos für die letztere. Bei Werkstoffen mit stark ausgeprägter unterer und oberer Streckgrenze kann schon aus abnahmetechnischen Gründen nicht auf die Trennung beider Spannungspunkte verzichtet werden, da sonst alle Vergleiche von Streckgrenzenergebnissen wertlos sind (Abb. 26). Nun ist allerdings nicht jede Zerreißmaschine mit Vorrichtungen zum Ablesen der  $\sigma_{Su}$ -Grenze eingerichtet; um so mehr sollten beim Zustandekommen eines Lieferungsvertrages, in dem besonders die Streckgrenzenverhältnisse eines Werkstoffes betont werden, solche Fragen, die verschiedene Antworten finden können, erörtert werden.

#### d) Die 0,2 - Grenze.

Es darf die wichtige Tatsache nicht unbesprochen bleiben, daß nicht bei allen Zugversuchen die  $\sigma_S$ -Grenze einwandfrei zum Ausdruck kommt. Das wichtigste Merkmal im Spannungsdehnungsschaubild, der Knick, fehlt (Abb. 22c). Proben mit solchen knicklosen Schaubildern entstammen Werkstoffen, die kalt bearbeitet oder schroff gehärtet worden sind. Auch gerade gerichtete Proben und viele Metalle haben die augenfälligen Merkmale einer  $\sigma_S$ -Grenze verloren. Bei Warmzugversuchen wird man nur noch im Gebiet des Blaubruchs ( $150$  bis  $300^\circ$ ) günstigenfalls das typische Spannungsdehnungsschaubild finden. Auch die Abweichung von der Geraden als Symptom der  $\sigma_S$ -Grenze gibt für gerichtete Probestäbe keinen Anhalt; denn durch das Geradebiegen eines gekrümmten Probestückes liegen innerhalb des Querschnittes verschiedene Reckgrade von außen nach innen vor. Verschiedene Reckgrade hinterlassen aber verschiedene  $\sigma_S$ -Grenzen, so daß man eine unendliche Reihe von dicht hintereinander liegenden, an Größe



zunehmenden Streckgrenzen anzunehmen hat. Aus demselben Grunde werden auch alle andern für die  $\sigma_S$ -Grenzenbildung maßgebenden Merkmale vermißt. Aus dem Spannungsdehnungsschaubild der Abb. 23 sind diese Verhältnisse deutlich durch die sanfte Krümmung zu erkennen. Würde man die Abweichung von der Geraden als  $\sigma_S$ -Punkt gelten lassen, so ergebe diese Ausmessung nur  $\sigma_S = 19 \text{ kg/mm}^2$  bei einer  $\sigma_B$ -Zugfestigkeit von  $50 \text{ kg/mm}^2$ . Tatsächlich beträgt aber die 0,2-Grenze  $28 \text{ kg/mm}^2$ .

Um einen der  $\sigma_S$ -Grenze entsprechenden Punkt auf der Spannungsdehnungslinie festzulegen, entschloß man sich allgemein zur Anerkennung eines durch Feinmessung gewonnenen Dehnungsrestes, in der Regel von 0,2% bleibender Dehnung nach völliger Entlastung. Hie und da findet man auch einen anderen Dehnungsbetrag als

angenommene  $\sigma_S$ -Grenze angegeben, der zwischen 0,1 und 0,5% der Meßlänge schwankt. Aus der bei einem praktischen Feinmeßversuch gewonnenen Kurve wird ersichtlich, daß in diesem Meßbereich nur geringe Spannungsunterschiede vorhanden sind und sich kaum eine ernsthafte Diskussion über die Verwendung der einen oder der anderen Grenze bei der Abnahme lohnt. Wird bei Abnahmeabmachungen die 0,2-Grenze gefordert, dann pflegt man sich meistens über die zu ihrer exakten Feststellung erforderlichen Feinmeßinstrumente zu einigen. Man wird zwar in erster Linie die Martenssche Spiegelapparaturnennen, doch gibt es eine ganze Anzahl zuverlässiger, in der

Bedienung einfacherer Instrumente, die auch zum Teil von Abnahmebehörden zugelassen sind (Abschnitt 9). Das zeitraubende Be- und Entlasten kann jedoch bei keinem dieser Instrumente fortfallen. Eine Erleichterung könnte man aber dadurch eintreten lassen, daß man nicht alle Proben derselben Charge und Glühung der Feinmessung unterwirft, sondern bei einem Teil nur die Grobmessung vorsieht. Durch Vergleiche ist es wohl möglich, ein klares Bild der Gesamteigenschaften des Werkstoffes zu erhalten.

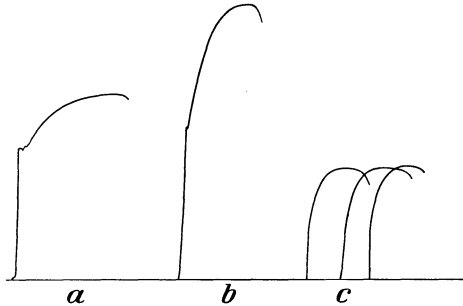


Abb. 22. Die Spannungsdehnungsschaubilder *a* und *b* zeigen einen mehr oder weniger deutlichen Knick als Kennzeichen der Streckgrenze. *c* ein kaltverformtes Kesselblech, gibt auch bei 3 nebeneinanderliegenden Proben das Charakteristikum der Streckgrenze nicht wieder.

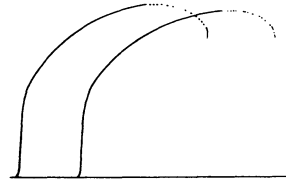


Abb. 23. Spannungsdehnungsschaubilder von gerade gerichteten Zugproben.

### e) Streckgrenzenbeeinflussungen.

Infolge dauernd gesteigerter Anforderungen an den Werkstoff ging man bald auf die Suche nach neuen ihn genauer kennzeichnenden Eigenschaften und bezog daher die  $\sigma_S$ -Grenze immer mehr in den Kreis wissenschaftlicher Betrachtungen und praktischer Erwägungen ein. Ja, man wird nach dem Stande der heutigen Erkenntnis mit ihrem Einzug in alle Abnahmevorschriften rechnen müssen. Als Gütemaßstab zur Beurteilung eines Werkstoffes gilt das zahlenmäßige Verhältnis der

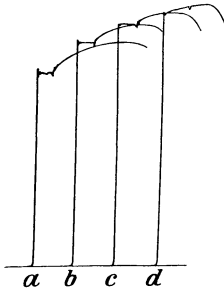


Abb. 24. Spannungsdehnungsschaubilder. Von *a* auf 5 % gereckter Probe; von *b* auf 10 % gereckter Probe; von *c* auf 15 % gereckter Probe; von *d* auf 20 % gereckter Probe. Erhöhung der Streckgrenze und Festigkeit mit der Steigerung der Verformung; steigend tritt auch die Streckgrenze näher an die Zugfestigkeit heran. Der Werkstoff S.M.-Fluß-eisen hat mit der Steigerung der Reckung eine Verringerung der Dehnung erfahren.

Streckgrenze zur Zugfestigkeit. Das mag nur unter gewissen Einschränkungen richtig sein; denn Legierungszusätze, innere Spannungs- und Gefügestände sowie äußere mechanische Einwirkungen verändern die Lage der  $\sigma_S$ -Grenze so stark, daß die erforschte Größe nur unter Hinzuziehung anderer Eigenschaften brauchbare Konstanten für den Konstrukteur abgibt (Abb. 24).

Mit der Zunahme des Kohlenstoffgehaltes wird die Zugfestigkeit regelmäßig entsprechend gesteigert; mit ihr nimmt auch die  $\sigma_S$ -Grenze, wenn auch nicht proportional, sondern in sanft ansteigender Kurve zu (Abb. 231).

Bei näherer Betrachtung des Kurvenbildes fällt auf, daß die Streckgrenze mit Hilfe des C-Gehaltes nur auf Kosten anderer wichtiger Gütekomponenten erhöht werden kann. Will man aber unter Schonung anderer Eigenschaften die  $\sigma_S$ -Grenze heraufsetzen, so wird der Stahl mit anderen geeigneten Metallen legiert. Nach Abb. 236—239 werden geringe Prozente von

Mangan, Nickel, Chrom auch anderen Zusätzen benötigt, um die  $\sigma_S$ -Grenze günstig zu beeinflussen. Erfahren solche legierten Stähle noch eine entsprechende Wärmebehandlung, so werden Streckgrenzen von mehr als 120 kg/mm<sup>2</sup> oder mehr als 80% der Zugfestigkeit erzielt.

Aus Abb. 242 geht aber deutlich hervor, daß der Abfall der  $\sigma_S$ -Grenze desselben Werkstoffes im wesentlichen auf seinen Gefügestand zurückgeführt werden muß. Schon im Gebiet des Perlits, vom unbehandelten über den körnigen zum lamellaren Perlit, sind die Veränderungen durch die verschiedenen Wärmeeinflüsse auffallend stark. Man sollte daher nicht kurzer Hand von schlechter Streckgrenze eines Werkstoffes, als wäre ihm diese Eigenschaft ursprünglich eigen, sprechen, sondern von ungeeignetem Glühzustand. Die für Baustähle unerwünschte hohe  $\sigma_S$ -Grenze des martensitischen Gefügestandes wird durch verschiedene Anlaßtemperaturen (Sorbit) zu einer brauchbaren Berechnungsgröße gemildert. Ganz abgesehen davon, daß der

Werkstoffquerschnitt der Vergütewirkung (Martensit-Sorbit) selbst eine Grenze setzt (Abschnitt 49), können solche Maßnahmen zur Hebung der Streckgrenze nicht immer ohne hinlängliche Bedenken getroffen werden. Jede Härtung (Martensit), auch noch jedes die Härtung abschwächende Anlassen (Sorbit) hinterläßt Spannungsanhäufungen, die unter gewissen Voraussetzungen zu Rissen, Brüchen oder Verziehen führen können (Abschnitt 48, 50).

Ob und welche Stähle zu vergüten sind, wird in den meisten Abnahmevorschriften eindeutig bestimmt. Es sei nicht zu vergessen, daß außer dem körnigen Perlit aller Stähle vor allem der Gefügestand des Austenits hochlegierter Stähle eine außergewöhnlich niedrige Streckgrenze aufweist (Abschnitt 46, 48).

Zahlentafel 3. Beeinflussung der Eigenschaften durch Eindrehungen nach Abb. 25.

Ein- drehungs- länge	Streck- grenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kon- traktion %
200	26,2	48	26,0	58,0
100	26,8	48,2	24,3	56,3
50	27,5	51	24,0	46,5
24	32,0	54	14,0	42,0
12	43,5	58,5	6,7	17,5
6	47,0	66	2,3	—

Die  $\sigma_S$ -Grenze bzw. die 0,2-Grenze wird wie alle übrigen Eigenschaften durch höhere Temperaturen ungewöhnlich beeinträchtigt, jedoch mit dem Unterschied, daß sie mit steigender Temperatur eine Stetigkeit in der Abnahme aufweist, ja als Kurve fast gradlinig verläuft. Werkstoffverbessernde Legierungszusätze vermindern den Abfall in Richtung der höheren Temperatur (Abb. 53—56), weshalb man auch mit Erfolg für solche bei höheren Temperaturen beanspruchten Werkstücken legierte Stähle verwendet. Einzelne Vorschriften legen auf Erfassung der  $\sigma_S$ -Grenze bei höheren Temperaturen, also der Warmstreckgrenze, besonderen Wert, da sich herausstellte, daß die Streckgrenzen der Stähle ähnlicher chemischer Zusammensetzung beachtenswerte Unterschiede zeigten.

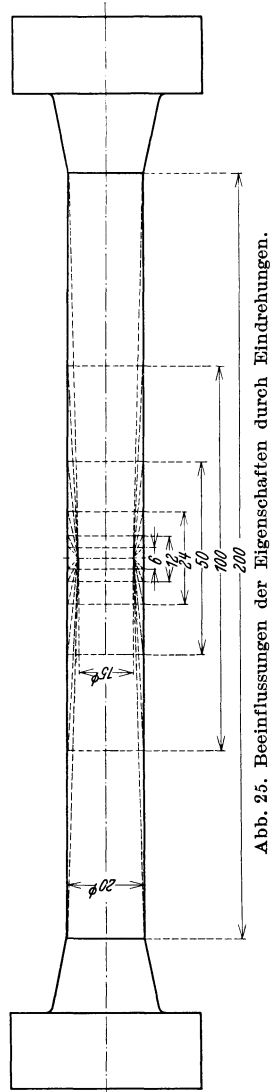


Abb. 25. Beeinflussungen der Eigenschaften durch Eindrehungen.

Wenig beachtet und wenig bekannt ist in der praktischen Werkstoffprüfung der Einfluß der Probeform auf die  $\sigma_S$ -Grenze. So bewirkt die Verminderung des Probestabdurchmessers eine ungeahnte Erhöhung der 0,2- und  $\sigma_S$ -Grenze (Abb. 12 und 13) bei gleichzeitiger Beeinträchtigung anderer Eigenschaften. Bei dem in Frage stehenden Stahl beträgt die Differenz 5 kg/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit zwischen einem vollkommen zylindrisch gedrehten und dem bis zu 1 mm nach dem mittleren Drittel verminderten Querschnitt eines Probestabes. Dieses Verhältnis wird noch schärfer durch die Abb. 25 und Zahlentafel 3 (s. S. 21) beleuchtet. Hier wurde der Probestab rundkerbartig 6 mm breit in der Stabmitte

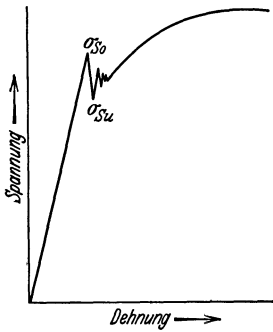


Abb. 26. Streckgrenzenbeeinflussung durch erhöhte Versuchsgeschwindigkeit (s. auch Abb. 53).

ausgearbeitet, bei der weiteren Verbreiterung dieser Eindrehung wurden die Eigenschaften laut Zahlentafel sehr rasch geändert. Es sei hierzu anschließend bemerkt, daß sich Drehriefen an Rundprobestäben, Hobel-, Walz- oder Ziehriefen an Flachprobestäben je nach Schärfe und Tiefe der Verletzung ähnlich auswirken müssen. Auch zufällige Stabverdickungen innerhalb der Meßlänge, sowie übermäßige Annäherung der Stabköpfe und des Konus-teiles zur Stabmitte wirken versteifend für den Verformungswiderstand und damit steigernd auf die Streckgrenze. Mag sein, daß der Wert der 0,2-Grenze infolge der Eigenart dieses Versuchs unbeeinflussbar ist, aber plötzlicher Lastanstieg in der Nähe der Streckgrenze oder eine von vornherein hoch gewählte Versuchsgeschwindigkeit wird nach Abb. 26 am Spannungsdehnungsschaubild oder der Lastanzeige einen so kräftigen Ausschlag nach oben und unten nach sich ziehen, daß weder die untere noch obere Streckgrenze als richtig erscheinen kann. Erst der zweite An- und Abstieg dürfte ihre richtige Größe darstellen. Um eindeutige Verhältnisse zu schaffen, setzen manche Abnahmevorschriften (einige Forscher messen dem Einfluß der Versuchsgeschwindigkeit auf die  $\sigma_S$ -Grenze nur eine geringe Bedeutung bei) auch das Zeitmaß des Zugversuches auf 0,1 mm Dehnung je Sekunde für dünne Blechproben, für andere Proben bis 0,5 mm je Sekunde Dehnungsgeschwindigkeit fest.

### f) Die Zugfestigkeit (Zerreißfestigkeit).

Verfolgt man die Spannungsdehnungsschaulinie über  $\sigma_u$  hinaus, so gelangt man an einen Höchstlastpunkt *B* (Abb. 20) der als Zug- oder Zerreißfestigkeit, bisweilen auch einfach mit Festigkeit bezeichnet wird. Dieser Lastpunkt wird sich bei Werkstoffen mit Formänderungsvermögen je nach dessen Größe von *S* entfernen, der Werkstoff wird

sich dehnen; bei Stoffen spröder Natur dagegen wird der Höchstlastpunkt  $B$  mit  $S$  zusammenfallen, der Werkstoff wird sofort zu Bruch gehen. Bei dehnbaren Stoffen wird die Last bei  $B$  nicht aufhören, sondern je nach ihrer Bildsamkeit allmählich bis Punkt  $Z$  absinken; ein Probestab wird dann eingeschnürt. Die durch  $Z$  angedeutete Zerreilast ist ohne jede praktische Bedeutung und fällt bei spröden Stoffen mit  $B$  bzw.  $S$  zusammen.

Die  $\sigma_B$ -Grenze wird an einer Prüfmaschine durch Ablesung am Waagebalken bzw. am Manometer festgestellt. Die Berechnung ist eine einfache Beziehung der Höchstlast  $B$  auf den Ursprungsquerschnitt  $F_0$ , demnach  $B = F = \frac{B}{F_0}$ . Die Zugfestigkeit bildet die Basis aller Werkstoffvorschriften.

Über ihren Höchst- und Mindestwert entscheidet die aus der Erfahrung schöpfende Technik selbst; denn Art und Höhe der Beanspruchungen eines Werkstückes sind maßgebend für die Wahl eines Werkstoffes.

Bei der Kennzeichnung von Stahlsorten pfl egt man auch statt der Festigkeitswerte nur den  $C$ -Gehalt anzugeben, da bis etwa 0,7%  $C$  bei Gleichhaltung der übrigen chemischen Bestandteile und normaler Glühbehandlung die Zugfestigkeit mit dem Kohlenstoff fast proportional zunimmt. Aus der Abb. 231 nach Wendt geht hervor, daß die  $\sigma_B$ -Werte normal geglühter Werkstoffe verschiedenen  $C$ -Gehaltes in der Richtung und der Ausdehnung des schraffierten Raumes außerordentlich stark verändert werden können. Nun ist freilich eine solche Änderung durch Härtung bzw. Vergütung über die dort angegebene Grenze der Bearbeitbarkeit hinaus selten erwünscht, da neben der Schwierigkeit der Bearbeitung eine die Haltbarkeit des Werkstoffes schädigende Sprödigkeit einsetzt. Wird aber dennoch höhere Festigkeit gewünscht, dabei jedoch auf eine gewisse Zähigkeit nicht verzichtet, so muß man auf Legierungszusätze wie bei der Streckgrenzenerhöhung zurückgreifen.

Dem Konstrukteur kommt es heute zunächst nicht auf eine hohe Zugfestigkeit, sondern auf die von dieser abhängigen Streckgrenze an, da nur sie für einen Werkstoff die zulässigen Beanspruchungen an die Hand geben kann. Der Konstrukteur ist immer bestrebt, mit geringen Abmessungen des Werkstückes hohe Leistungen zu erzielen. Solchen Wünschen kann naturgemäß nur entsprochen werden, wenn mit geringen Erhöhungen der  $\sigma_B$ -Grenze ein erhebliches Anwachsen der  $\sigma_S$ -Grenze zusammengeht, wie man dies bei der Vergütung legierter Stähle feststellen kann (Abb. 54 sowie 235—239 und Abschnitt 48).

In manchen Abnahmevorschriften gilt das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Streckgrenze als Sonderbedingung, deren Erfüllung

nicht selten Schwierigkeiten bereitet. Die deutschen Industrienormen sehen bei 1611, 1661 u. 1681 und die A.S.T.M.<sup>1</sup>-Vorschriften bei einer großen Anzahl von Stählen ein Zahlenverhältnis von etwa 50% vor. Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft fordert 55% für St. 34 · 11, 42 · 11 und für St. 50 · 11. In Vorschriften für hochbeanspruchte Teile werden Streckgrenzen bis zu 80% der Zugfestigkeit verlangt.

Alle Versuche bei höheren Temperaturen unterliegen einer unkontrollierbaren Unstetigkeit. In der Regel ist der Kurvenverlauf der  $\sigma_B$ -Grenze wie in den Abb. 52—53. Im Wärmegebiet von 50 bis 150° wird bei gewöhnlichem C-Stahl ein Mindestwert, bei 200 bis 300° ein Höchstwert festgestellt. Darüber hinaus lassen die Temperaturen die  $\sigma_B$ -Kurve sehr schnell zu ganz niedrigen Werten herabsinken. Bei den legierten Stählen verflacht sich das Blaubruchgebiet (200—300°) und verschiebt sich nach der Seite der Temperaturerhöhung (Abb. 54).

Allen dehnbaren Metallen ist die Selbstverfestigung nach Beanspruchungen über die  $\sigma_S$ -Grenze eigen. Eine Erörterung darüber, sowie über die damit zusammenhängenden weiteren Veränderungen der Festigkeit durch das mechanische Altern, Rekristallisation und Bearbeitung im Blaubruch, soweit sie überhaupt für die Werkstoffabnahme von Bedeutung erscheinen, findet sich an anderer Stelle (Abschnitt 38 und 40).

## 8. Zugversuch mit Feinmessung.

### a) Die Apparatur.

Die Apparate für Feinmessungen gestatten uns, sehr kleine Längenänderungen sehen, bzw. messen zu können. Sie beruhen entweder auf der Gaußschen Methode, d. h., sie vergrößern die Längenänderung mittels Fernrohr und Spiegel oder auf dem Hebelgesetz. Die erstgenannten Apparate bezeichnet man kurz als Spiegelapparate; ihre typischen Vertreter sind die Apparate von Bauschinger und Martens, mit deren Hilfe man Strecken bis auf  $\frac{1}{10\,000}$  mm genau messen kann. Zu den rein mechanischen Apparaten gehören der Martens-Kennedy-Apparat mit  $\frac{1}{500}$  mm, und die Meßuhren von Zeiß mit  $\frac{1}{1000}$  mm Meßgenauigkeit. Sehr viel ist der Spiegelapparat von Martens im Gebrauch, dessen theoretische Grundlagen und Arbeitsweise im folgenden näher beschrieben werden.

In den Versuchsstab werden mit einer Reißnadel im Abstand der Meßlänge „l“ zwei Riefen eingeritzt (Abb. 27). In eine dieser Riefen werden an diametral gegenüberliegenden Punkten zwei Meßfedern  $F_1$  und  $F_2$  mit ihren Schneiden hineingelegt und durch zwei Federklemmen  $K_1$  und  $K_2$ , welche die Meßfedern gegen den Stab drücken, in dieser Stellung

<sup>1</sup> American Society for Testing-Materials.

gehalten. In der zweiten Riefe sitzen ebenfalls an diametral gegenüberliegenden Punkten zwei prismatische Schneiden, die aber nicht mit den Meßfedern fest verbunden, sondern in einer Kerbe derselben beweglich gelagert sind. Jede dieser Schneiden trägt in einem gabelartigen Halter

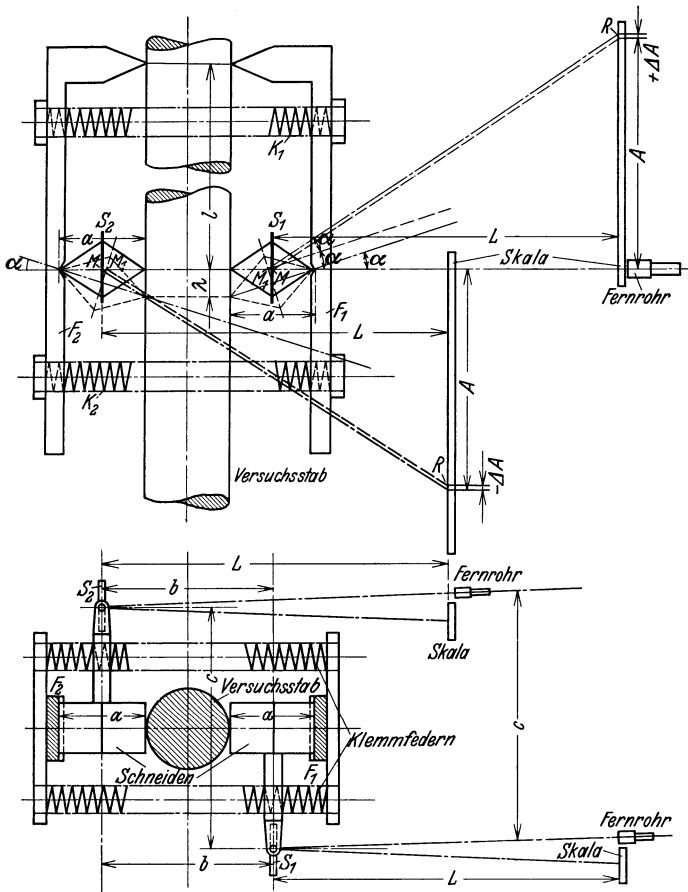


Abb. 27 und 28. Schema einer eingebauten Martensschen Spiegelapparatur.

einen drehbar gelagerten Spiegel  $S_1$  und  $S_2$ , deren Achsen auf der Verlängerung der Schneidenmittel-Achsen liegen. Im horizontalen Abstand  $L$  von jedem Spiegel steht senkrecht eine mit Millimereinteilung versehene Skala. Unmittelbar neben jeder Skala steht ein Fernrohr mit Fadenkreuz, das so eingeteilt wird, daß man im Spiegel die zugehörige Meßplatte sieht.

Wenn sich nun der Stab unter der Last um die Strecke  $\lambda$  dehnt, werden die in der unteren Riefe sitzenden Schneiden mitgenommen. Da

die Lagerpunkte der Schneiden in den Meßfedern im Raume feststehen, müssen sich dieselben mit den Spiegeln um einen Winkel  $\alpha$  drehen. Infolgedessen trifft der Sehstrahl des Beobachters den Spiegel nicht mehr bei  $M$ , sondern bei  $M_1$ . Durch den Spiegel wird der Sehstrahl um den doppelten Winkel, also um  $2\alpha$  abgelenkt, so, daß der Beobachter auf der Skala den Punkt  $R$  sieht. Wie man aus Abb. 28 erkennt, bewirkt die Drehung des Spiegels  $S_1$  eine Vergrößerung und die des Spiegels  $S_2$  eine Verkleinerung der abgelesenen Teilstrecke um die Größe  $\Delta A$ . Da man aber, wie es auch aus anderen Gründen tatsächlich geschieht, die Messung doppelt ausführt und aus beiden Ergebnissen den Mittelwert errechnet, heben sich die beiden entgegengesetzten Fehler auf.

Bezeichnet man mit (Abb. 28)

- $A$  die aus zwei Messungen erhaltene mittlere Teilstrecke in mm,
- $\lambda$  die Längenänderung in mm,
- $a$  die Schneidenbreite in mm,
- $L$  den Spiegelabstand in mm,
- $\alpha$  den Ausschlagwinkel in Winkelgrad, und
- $n$  das Vergrößerungsverhältnis,

dann bestehen folgende Beziehungen:

$$\lambda = \sin \alpha \cdot a \quad (1)$$

$$A = L \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \quad (2)$$

$$n = \frac{\lambda}{A} = \frac{a}{L} \cdot \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} 2\alpha} \quad (3)$$

$$\lambda = A \cdot \frac{a}{L} \cdot \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} 2\alpha} \quad (4)$$

Für sehr kleine Winkel  $\alpha$  kann man bekanntlich setzen:

$$\frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} 2\alpha} \sim \frac{1}{2} \quad (5)$$

Es wäre nun zu untersuchen, welche Größe die Ausschlagwinkel annehmen können und wie groß der Fehler bei Ersatz des Quotienten  $\frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} 2\alpha}$  durch den Faktor  $1/2$  wird.

Der Fehler wird um so größer, je mehr sich die Meßpunkte auf der Skala von der Horizontalachse entfernen. Für einen gegebenen Ausschlagwinkel wird er am kleinsten sein, wenn man den Meßbereich zur Hälfte unter die Horizontalachse (Fernrohrachse) und zur Hälfte darüber legt. Er würde gleich Null sein, wenn anstatt der geraden Skalen solche verwendet werden würden, die mit dem Spiegelabstand  $L$  als Radius gebogen wären. Indessen haben sich derartige Skalen wohl aus Herstellungsgründen nicht in der Praxis eingeführt. In der nachstehenden Zahlentafel 4 sind die zur Ermittlung der 0,2- bzw. 0,3-Grenze bei Meßlängen von 100 und 200 mm erforderlichen Gesamtausschlagwinkel zusammengestellt.



Zahlentafel 4.

	0,2-Grenze		0,3-Grenze	
Meßlänge in mm . . . .	100	200	100	200
$\alpha$ in Winkelgrad . . . .	2° 52'	5° 44'	4° 18'	8° 36'

Wenn man also, wie bereits oben gesagt, den Meßbereich so legt, daß der Gesamtausschlagwinkel durch die Fernrohrachse halbiert wird, dann ist für den Fehler nur der halbe Winkel  $\alpha$  maßgebend, der nach vorstehender Zahlentafel höchstens 4° 18' beträgt.

In Zahlentafel 5 sind für die halben Ausschlagwinkel  $\alpha$  von 1 bis 5° die genauen Werte für den Faktor  $\frac{2 \cdot \sin \alpha/2}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$  und darunter die prozentualen Fehler angegeben, die bei Ersatz des genauen Wertes durch den Faktor  $\frac{1}{2}$  gemacht werden.

Zahlentafel 5.

$\alpha/2 =$	1°	2°	3°	4°	5°
$\frac{2 \cdot \sin \alpha/2}{2 \operatorname{tg} \alpha} =$	0,4998	0,4992	0,4982	0,4967	0,4949
Fehler in % gegen $\frac{1}{2}$	0,02	0,16	0,36	0,66	1,02

Man ersieht daraus, daß bis zu  $\alpha/2 = 4^\circ$  der Fehler mit 0,66% kleiner ist, als die von den Zerreißmaschinen bezüglich der Kraftanzeige verlangte Genauigkeit von  $\pm 1\%$ . Man kann also in allen praktischen Fällen mit dem Faktor  $\frac{1}{2}$  rechnen. Bei größeren Ausschlagwinkeln als 8° bzw. 4° ist es ratsam, nur Stäbe mit 100 mm Meßlänge zu verwenden.

### b) Richtlinien für die Benutzung der Martensschen Spiegelapparate.

Um bei Benutzung der Spiegelapparate nach Martens Fehlerquellen nach Möglichkeit auszuschließen, sind folgende Richtlinien, und zwar in der angegebenen Reihenfolge, genau zu beachten.

1. Der Versuchsstab muß fehlerfrei sein und über die Versuchslänge gleichen Querschnitt haben. Besonderer Wert ist auf eine sorgfältige Ausführung der Einspannköpfe zu legen. Falls hierzu Gewinde benutzt wird, muß dasselbe sauber geschnitten sein und soviel Gänge haben, daß bei den auftretenden Beanspruchungen keinesfalls Formänderungen oder gar Ausbrüche eintreten. Die Einspannvorrichtung muß so beschaffen sein, daß die Zugkraft tunlichst gleichförmig über den Querschnitt des Stabes verteilt ist, damit keine zusätzlichen Biegemomente auftreten. Letztere Forderung ist besonders bei Verwendung von Flach-

stäben zu beachten. Die Stababmessungen sind genau festzustellen und die Meßkörner nur so tief einzuritzen, als es zum Festsitzen der Meßfedern erforderlich ist.

2. Die feststehenden Schneiden der Meßfedern werden an zwei gegenüberliegenden Punkten in eine der beiden Riefen hineingelegt und durch zwei Federklemmen in dieser Stellung festgehalten. Zum Einsetzen der Spiegelhalter werden die beiden Federn nacheinander senkrecht zur Stabachse abgehoben. Schon beim Einbau ist darauf zu achten, daß die beiden Spiegelhalter parallel zueinander stehen (Maß „b“ in Abb. 27).

Sofort nach dem Einbau muß man sich davon überzeugen, daß die Spiegelhalter frei beweglich sind, wobei zu berücksichtigen ist, daß sich die Apparatur auch dann noch unbehindert bewegen kann, wenn sie infolge Dehnung des Stabes ihre Lage in der Maschine geändert hat.

3. Die beiden Fernrohre sind auf einem feststehenden Dreifußtisch so aufzustellen, daß der Abstand zwischen den beiden Fernrohrachsen gleich dem Mittenabstand der beiden Spiegel ist (Maß „c“ in Abb. 27). Nun werden die Fernrohre mit Hilfe einer Wasserwaage waagrecht gestellt und mit den Spiegeln durch Höher- oder Tieferstellen des Dreifußes auf gleiche Höhe gebracht. Bei richtiger Höhenlage der Fernrohre muß man durch diese die Spiegel sehen können. Um ein versehentliches Anstoßen möglichst zu verhindern, ist der Dreifuß so aufzustellen, daß sich ein Fuß desselben zwischen den Beinen des Beobachters befindet.

4. Bei einer Schneidenbreite des Spiegelhalters von beispielsweise  $a = 4 \text{ mm}$  muß zur Erzielung einer 500- bzw. 1000fachen Vergrößerung nach Formel 3 der Spiegelabstand  $L = \frac{4,0 \times 500}{2} = 1000$  bzw. 2000 mm sein. Mit einem Stichmaß ist nachzuprüfen, ob diese Entfernung bei beiden Spiegeln eingehalten ist.

5. Um nachweisen zu können, bei welcher Belastung zum erstenmal bleibende Dehnungen auftreten, muß der Stab stufenweise be- und entlastet werden. Entlastete man hierbei den Stab vollkommen, dann würde er sich in den Einspannvorrichtungen lockern, was eine Verdrehung und Verschiebung der Spiegel zur Folge hätte, so, daß man bei jeder Entlastung andere Werte ablesen würde. Um diesen Fehler zu beseitigen, wird der Stab vor Beginn des Versuches mit einer Grundlast vorbelastet, die nur so hoch zu wählen ist, daß mit Sicherheit noch keine bleibenden Dehnungen eintreten können.

6. Die Skalen müssen senkrecht stehen. Wie schon auf S. 26 über die Theorie der Feinmessung gesagt wurde, ist der Nullpunkt der Messung so zu legen, daß der erforderliche Ausschlagwinkel durch die Horizontalachse (Fernrohrachse) in zwei annähernd gleiche Teile geteilt wird. Wenn beispielsweise an einem 100 mm-Stab bei 1000 mm Spiegelabstand

die 0,2-Grenze ermittelt werden soll, dann benötigt man nach Formel 4 auf der Skala einen Meßbereich von  $A = \frac{\lambda \cdot L \cdot 2}{a} = \frac{0,2 \cdot 1000 \cdot 2}{4} = 100$  mm. In diesem Fall sind also die Skalen so einzustellen, daß der Teilstrich 50 in Höhe der Fernrohrmittelachse liegt.

Während die unter 5. beschriebene Grundlast auf den Stab wirkt, wird mit einem Stückchen weichen Drahtes an die Kanten beider Spiegel solange vorsichtig geklopft, bis die Fadenkreuze beider Fernrohre auf dem Teilstrich Null stehen. Zur Kontrolle, ob die Spiegel auch auf die zugehörige Skala eingestellt sind, sehe man durch jedes Fernrohr und streiche gleichzeitig mit der Hand über die zugehörige Skala. Durch die zweifache Messung sollen Fehler durch zusätzliche Biegemomente, hervorgerufen durch ungleichmäßige Lastverteilung oder einseitige Erwärmung des Stabes, möglichst ausgeschaltet werden.

7. Von ganz besonderer Wichtigkeit ist bei Feinmeßversuchen die genaue Beachtung der Temperaturverhältnisse, wobei man sich stets vergegenwärtigen muß, daß Stahl eine Wärmeausdehnungszahl von rund  $\frac{1}{80\,000}$  und eine Lastdehnungszahl von rund  $\frac{1}{2\,000\,000}$  hat; mit anderen Worten: Eine Erwärmung des Stabes um  $1^\circ$  ist in bezug auf seine Dehnung von gleicher Wirkung wie eine Belastung mit  $25 \text{ kg/cm}^2$ . Mit den Messungen darf nicht eher begonnen werden, bis sich die ganze Apparatur im Temperaturbeharrungszustand befindet; insbesondere müssen Stab und Meßfedern die gewünschte, gleiche Versuchstemperatur angenommen haben. Hiervon kann man sich dadurch überzeugen, daß man vor Beginn des eigentlichen Versuches mehrmals mit einer geringen Last be- und entlastet und hierbei die abgelesenen Skalenwerte vergleicht. Erst dann, wenn mehrmals hintereinander die gleichen Werte ermittelt worden sind, kann erwartet werden, daß Meßfedern und Stab gleiche Temperatur angenommen haben. Die zu Beginn des Versuches herrschende Temperatur ist zu notieren und während des Versuches möglichst genau einzuhalten. Hierzu ist es notwendig, die ganze Apparatur vor Zugluft zu schützen. Eine Temperaturänderung wirkt sich schon deshalb ungünstig aus, weil die dünnen Meßfedern die neue Temperatur rascher annehmen als der stärkere Versuchsstab, der noch dazu durch die Einspannvorrichtung mit den anderen Maschinenteilen in wärmeleitfähiger Verbindung steht.

Bei Warmzugversuchen von Stahlproben, die in elektrisch geheizten Luft- oder Flüssigkeitsöfen warm gehalten werden, ist scharf darauf zu achten, daß vor Einstellung einer neuen Belastungsstufe erst der Temperaturbeharrungszustand eingetreten ist. Die elektrische Beheizung der Flüssigkeits- (Salz) und Luftöfen hat sich recht gut bewährt, weil die Temperatur mittels entsprechender Widerstände sehr genau und bequem geregelt werden kann. Wenn der Ofen an ein Netz mit starken Belastungsschwankungen angeschlossen ist, ist der Einbau

eines elektrischen Temperaturreglers, wie er z. B. von der Firma Siemens & Halske hergestellt wird, von Vorteil.

Wie bereits oben ausgeführt, ist eine möglichst genaue Kenntnis der Temperatur des Versuchsstabes besonders bei Warmzugversuchen notwendig. Die Temperaturmessung ist an sich schon eine von vielen Faktoren beeinflusste, schwierige Aufgabe und wird noch besonders kompliziert, wenn ein Ofen verwendet wird, in dem ein erheblicher

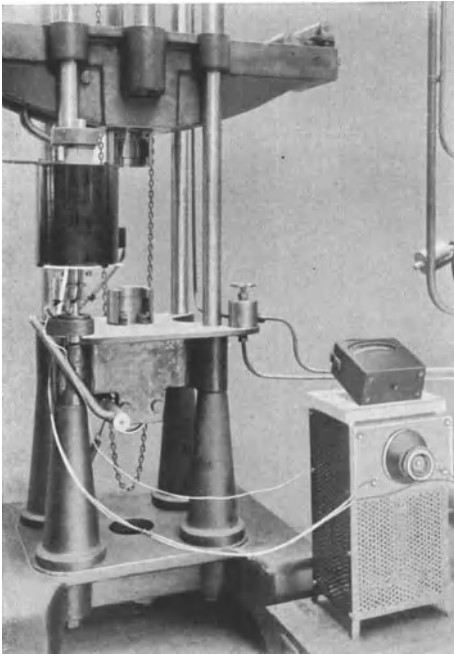


Abb. 29. Elektrischer Ofen der Fa. A. J. Amsler & Co. herausgeschwenkt zum Einbau des Probestabes.

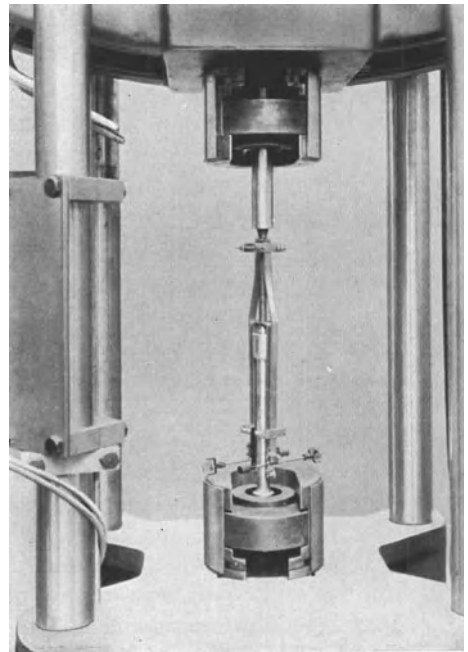


Abb. 30. Eingebaute Spiegelapparatur für Warmzugversuche.

Wärmebetrag durch Strahlung auf den Stab übertragen wird. Bei der in der Praxis weitverbreiteten Messung mit Thermoelementen wird auch dann, wenn die Meßstellen unmittelbar an den Stab angelegt werden, mehr oder weniger die Temperatur des den Stab umgebenden Heizmittels (Luft- oder Flüssigkeitsbad) gemessen; die tatsächliche Stabtemperatur wird immer geringer sein. Eine wenn auch verhältnismäßig rohe Kontrolle der Stabtemperatur gestatten die Anlaßfarben, die aber nur bei Temperaturen zwischen  $230$  und  $350^{\circ}$  brauchbar sind.

Auf jeden Fall muß die Temperatur an mehreren Stabstellen gemessen werden. Bei Flüssigkeitsbädern muß in geeigneter Weise für Zirkulation gesorgt werden. Bei Thermoelementen ist die Temperatur der äußeren Lötstelle zu berücksichtigen.

Ein guter Ofen muß so gebaut sein, daß der Probestab über die ganze Meßlänge und von allen Seiten gleichmäßig beheizt wird. Er muß leicht zu handhaben und so eingerichtet sein, daß der Probestab schnell ein- und ausgebaut werden kann. Bei elektrischen Luftöfen baut man die Feinmeßapparatur zweckmäßigerweise so ein, daß die Spiegel unten liegen. Man kann dann den Ofen gegen Zugluft sorgfältig abdichten.

Abb. 29 zeigt einen von der Firma A. J. Amsler & Co. in Schaffhausen hergestellten elektrisch geheizten Ofen, der mit zwei Gelenken an der Säule der Zerreißmaschine befestigt ist, so daß er zwecks Einbau des Stabes leicht herausgeschwenkt werden kann. Rechts auf dem Bilde erkennt man den Regulierwiderstand und das Millivoltmeter.

Abb. 30 zeigt den eingespannten Stab mit den beiden Spiegelapparaten. Während bei der Apparatur für Kaltversuche die Schneide des Spiegelhalters zwischen dem Stab und einer Meßfeder sitzt, bewegt sich bei der Apparatur für Warmzugversuche die Schneide zwischen zwei verlängerten Meßfedern, welche die Dehnung des Stabes nach außen übertragen. Beide Meßfedern müssen aus dem gleichen möglichst wärmebeständigen Material bestehen.

Abb. 31 zeigt einen Längsschnitt durch einen fertig montierten Amslerschen Ofen für Warmzugversuche.

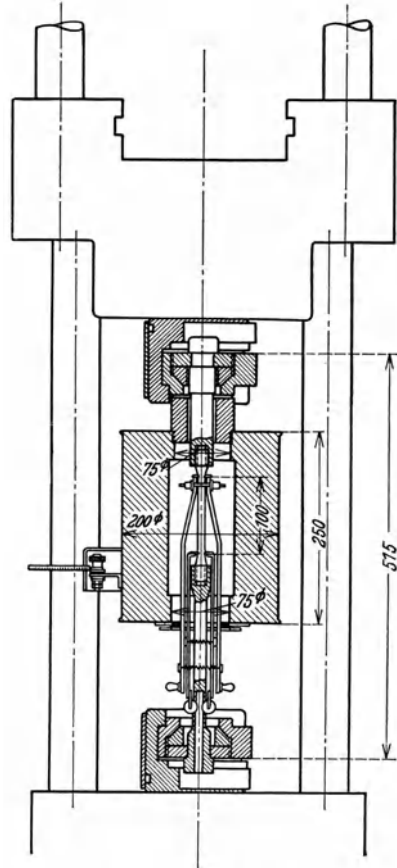


Abb. 31. Längsschnitt.

## 9. Andere Feinmeßgeräte.

### a) Martens-Kennedy-Apparat.

Eine für Feinmessung besonders geeignete Apparatur ist die von Martens-Kennedy, die auf demselben Prinzip wie der Spiegelapparat beruht. Hier wird der optische Zeiger, dort der mechanische Gradbogen angewendet. Dieser Apparat, der bei Einzelabnahmen der

umständlicheren Spiegelapparatur vorzuziehen ist, arbeitet bei guter Bedienung zuverlässig genug, um  $\frac{1}{500}$  bzw.  $\frac{1}{1000}$  mm Differenz abzulesen (Abb. 32).

Der Apparat besteht aus den Schneideprismen *a*, den Meßfedern *b*, den Zeigern *c* und den Skalen *d*. Die beiden Meßfedern werden mittels der

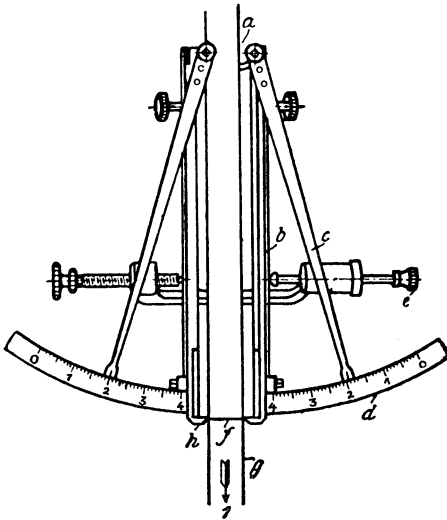


Abb. 32.  
Martens-Kennedy-Apparat (Dehnungsmesser)  
der Fa. R. Heiser, Berlin-Lichtenfelde.

Klemme *e* am Probestab festgehalten. Die unteren Enden der Meßfedern sind schneidenförmig ausgebildet und werden genau auf die Ringmarke *f* des Stabes *g* gesetzt. Die oberen Enden dagegen sind zur Aufnahme der mit Zeiger *c* versehenen Schneideprismen pfannenförmig gestaltet. Diese werden so eingesetzt, daß die äußere Schneide sich gegen die innere Schneide dagegen an den Probestab *g* legt und der Zeiger *c* bei unbelastetem Stab ungefähr auf 0 steht. Wird letzterer belastet, dann werden infolge

der Dehnung die unteren Schneiden der Meßfedern und die Prismenschneiden mitgenommen, wodurch sich die Zeiger an den Skalen *d* entlang bewegen. Der Weg des Zeigers an der Skala für eine bestimmte Laststufe ist alsdann ein Maß für die Dehnung, und man kann hieraus, da das Übersetzungsverhältnis des Dehnungsmessers vom Abnehmer genau bestimmt wird, die Dehnung in Millimeter berechnen. Wird der Apparat für Rund- und Flachstäbe gebraucht, so ist jeweils der besonders dafür bestimmte Einsatz *h* zu benutzen.

### b) Dehnungsmesser der Firma Amsler mit Ablesung auf $\frac{1}{100}$ mm.

Das Instrument (Abb. 33) eignet sich in erster Linie dazu, festzustellen, ob bei einem Zugversuch eine bleibende Dehnung am Probestab eingetreten ist und wie groß diese ist. Man kann also erkennen, ob eine von vorneherein festgesetzte Grenze überschritten worden ist.

Das Instrument besteht aus zwei Schienen, die aneinander gleiten und von denen jede mit einer Schneide versehen ist, die durch eine federnde Klemme gegen den Probestab gedrückt wird. Eine der beiden Schienen trägt eine Stahlplatte, die andere eine Rolle, die sich auf der

Kante der Platte abwälzt. Ein Zahnrad auf der Achse der Rolle treibt die Zeigerachse an. Die Übersetzungsverhältnisse sind so gewählt, daß eine halbe Umdrehung der Zeigerachse 1 mm anzeigt. Ein Teilstrich auf dem Ablesekreis entspricht  $\frac{1}{100}$  mm. Die ganzen Millimeter werden an einer Teilung auf dem Zahnrad abgelesen. Eine Feder drückt auf das Zahngetriebe und verhindert so totes Spiel zwischen den Zähnen.

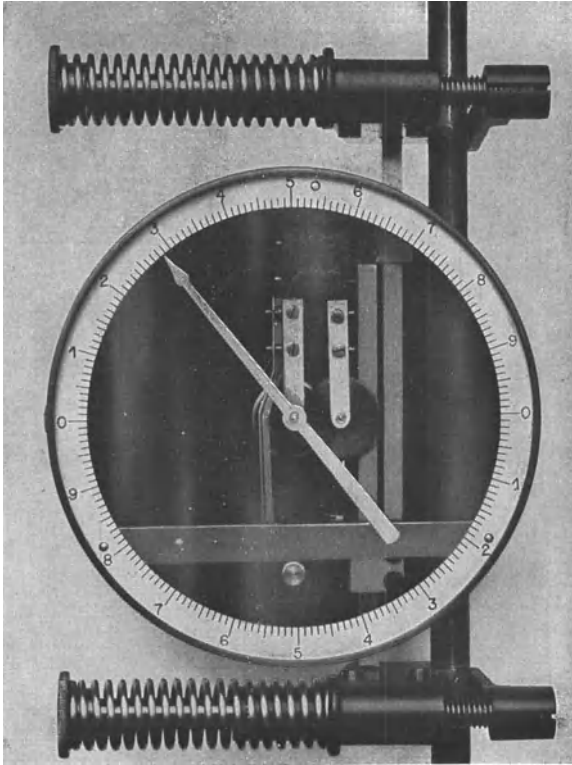


Abb. 33. Dehnungsmesser nach Amsler an einem Rundstab angesetzt.

Die anfängliche Entfernung zwischen den Schneiden beträgt 100 mm, die größte Entfernung etwa 112 mm; es kann also bis etwa 12% Dehnung gemessen werden. Das Instrument ist mit einer Vorrichtung versehen, um den Ablesemechanismus zu Anfang eines Versuches auf Null einzustellen. Um den Mechanismus gegen das Eindringen von Staub zu schützen, ist das Instrument in ein Messinggehäuse eingebaut, das vorn durch eine durchsichtige Zelluloidscheibe abgeschlossen ist.

### c) Tensometer von Huggenberger als Feinmeßgerät.

Unter den in den letzten Jahren in erhöhtem Maße zu Festigkeitsuntersuchungen benutzten Meßinstrumenten gehört der Dehnungsmesser

oder Tensometer Huggenberger, der in Zusammenarbeit mit der Materialprüfungsanstalt an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelt wurde. Seine Bauart lehnt sich der Konstruktion des Dehnungsmessers von Okhuizen und Mesnager an.

Die Anforderungen, die man an einen Dehnungsmesser stellt, mögen kurz skizziert werden:

Die Bauart des Meßgerätes muß derart einfach sein, daß sie die rasche und zuverlässige Durchführung der Untersuchung auch durch nicht wissenschaftlich gebildete Hilfskräfte ermöglicht. Die direkte Ablesung am Apparat, ohne Zuhilfenahme von Hilfsapparaten wie Fernrohr usw. ist unerlässlich. Der Apparat muß eine handliche und bequeme Gestalt aufweisen, ein geringes Gewicht haben und darf nur äußerst wenig Raum einnehmen. Er soll leicht und rasch an jedes Objekt

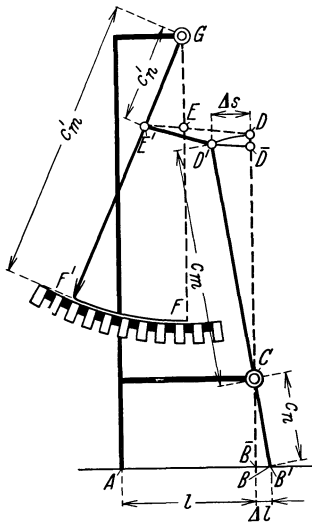


Abb. 34.

Abb. 34 und 35. Schematische Grundform des Tensometers.

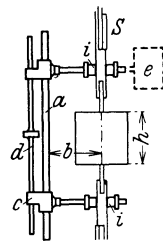


Abb. 35.

von beliebiger Größe und Gestalt und in jeder Stellung befestigt werden können. Meßgeräte, die die Längenänderung in einem gewissen Abstand von der Materialfaser messen, sind infolge der zu befürchtenden Fehlanzeigen zu verwerfen. Die Längenänderung muß vielmehr unmittelbar von der Materialfaser abgegriffen, die Länge der Materialfaser direkt vom Meßgerät aufgenommen werden. Um eine genaue Messung bei kleiner Meßlänge und kleinen Spannungen zu ermöglichen, muß der Meßapparat auf die geringste Längenänderung selbsttätig ansprechen, also sehr empfindlich sein. Da sehr kleine Formänderungen zu messen sind, so wird eine hohe Übersetzung des Apparates nötig. Die Kraft zur Verstellung des Mechanismus muß sehr gering sein, um Messungen an Baustoffen von geringer Härte vornehmen zu können.

Die vorstehenden Erwägungen führten zur Entwicklung des nachfolgenden Meßgerätes.

Durch einen Hebelmechanismus (Abb. 34) wird die zu messende Längenänderung  $\Delta l$  auf das  $n$ -fache vergrößert. Dies wird durch zwei Hebelübersetzungen erreicht. Die Längenänderung  $\Delta l$  wird vorerst durch den Hebel  $BCD$  mit dem Drehpunkt  $C$  auf  $\Delta s$  im Verhältnis der Hebellängen  $c_m$  und  $c_n$  vergrößert.

$$\frac{\Delta s}{\Delta l} = \frac{c_m}{c_n} = n_1.$$



Die Bewegung des Punktes  $D$  wird mittels der Kupplung, die die beiden Punkte  $E$  und  $D$  verbindet, auf den Zeiger  $GF$  mit dem Drehpunkt  $G$  übertragen, wobei das Verhältnis der Zeigerabschnitte  $c_m'/c_n'$  die Auslenkung  $\Delta s$  um das  $n_2$ -fache vergrößert, worin  $\Delta l'$  die Länge des Bogens, den die Zeigerspitze über der Skala bestreicht, bzw. die Anzahl der Teilstriche und  $n = n_1 n_2$  bedeutet.

Die totale Vergrößerung der zu messenden Längenänderung beträgt somit

$$\Delta l' = n_1 n_2 \Delta l = n \Delta l.$$

Aus der Meßlänge des Tensometers,  $l = AB$  und der an der Skala abgelesenen Anzahl Teilstriche erhält man die Dehnung

$$\varepsilon = \frac{\Delta l'}{l \cdot n}.$$

Aus der spezifischen Dehnung  $\varepsilon$  läßt sich dann die Spannung berechnen.

Die vorstehend geschilderte Hebelübertragung hat sich selbst unter den schwierigsten Versuchsbedingungen bewährt. Die Meßgenauigkeit ist gleich der Ablesegenauigkeit, d. h. bei 1000facher Übersetzung, 0,0001 mm.

Die Abb. 36, 37 und 38 zeigen verschiedene Ausführungen des Dehnungsmessers.

Zur Einstellung des Zeigers und Erweiterung des Meßbereiches, die das Messen bis in den Flußbereich des Materiales gestatten, dienen verschiedene Maßnahmen. Der Dehnungsmesser Typ  $A$ ,  $E$  und  $F$ , Abb. 36, 37 und 38, weist eine Feineinstellung des Zeigers auf. Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich außer im Gewicht auch in der Art der Lagerung der Hebel. Der Hebel  $h$  der Dehnungsmesser Typ  $A$ ,  $E$  und  $F$  hat unten eine doppelte prismatische Schneide; außerdem ist die Lagerstelle in  $D'$  und  $E'$  (Abb. 37), bei Typ  $A$  als Schneide ausgebildet. Diese Art der Lagerung verbürgt eine hohe Empfindlichkeit des Meßgerätes. Die Ablesegenauigkeit der genannten Modelle wird noch durch die Skala mit Spiegel erhöht. Das Zeigergewicht ist außerdem ausgeglichen. Der jeweils zur Verfügung stehende Meßbereich wird bei Typ  $A$  durch Stellung des Zeigers  $k$  innerhalb der beiden Marken angezeigt.

Bei Typ  $E$  und  $F$  ist die Mittelstellung des Zeigers durch einen Strich gekennzeichnet.

Der Dehnungsmesser Typ  $A$  ermöglicht durch Lösen der Schraube  $V$  das Herausnehmen der Schneide  $a$ , Wenden und Wiedereinsetzen um  $180^\circ$  und das Verkürzen der Standardmeßlänge von 20 mm auf 10 mm.

Beim Dehnungsmesser Typ  $A$  kann der Hebel  $h$  und damit der Zeiger  $g$  durch einen leichten Druck auf das Hebelchen  $f$  freigegeben werden, während bei Typ  $E$  und  $F$  eine besondere Zeigerfassung  $f$  (Abb. 36 und 38) vorgesehen ist, die durch Drehung um  $90^\circ$  den Zeiger freigibt oder festhält.

Der Dehnungsmesser Typ *A* ist für Messungen bestimmt, die eine hohe Genauigkeit und Empfindlichkeit verlangen.

Ändern sich die Beanspruchungen auf kurze Strecken sehr stark, so empfiehlt es sich, mit der Meßlänge von 10 mm zu arbeiten. In manchen Fällen wird die Übersetzung des Dehnungsmessers Typ *A* mit 1200 bei 10 mm Meßlänge als zu klein empfunden. Oft wirkt auch sein Gewicht störend. In diesem Falle greift man zum Dehnungsmesser Typ *F* (Gewicht 28 g), der eine Übersetzungszahl von rund 2000 hat und sich zur Untersuchung singularer Stellen von Kraftfeldern gut eignet.

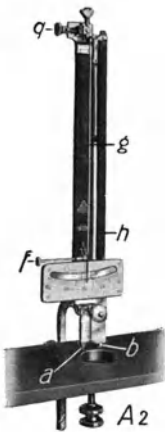


Abb. 36.  
Tensometer Typ E.  
112 mm  
52 mm

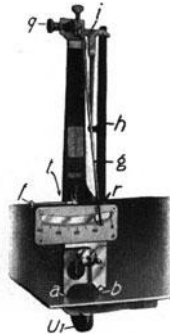


Abb. 37.  
Tensometer Typ A.  
112  
58

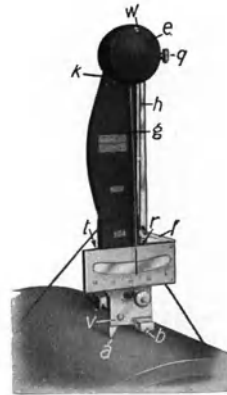


Abb. 38.  
Tensometer Typ F.  
Wirkliche  $f$   $h$  112  
Bildgröße  $l$   $b$  40

Die Skala des Dehnungsmessers ist mit Millimeterteilung versehen.

Außer den beschriebenen Dehnungsmessern gibt es noch Typen mit den Bezeichnungen *B* und *C*, die sich vor allem für Messungen im Freien infolge ihrer kräftigen Bauart eignen.

Infolge des kleinen Gewichtes kann der Dehnungsmesser in jeder beliebigen Lage und an jedem Gegenstand befestigt werden. Zu diesem Zwecke wurden die verschiedensten Befestigungsmittel entworfen; Abb. 36 zeigt eine Ausführungsart.

Handelt es sich darum, gleichzeitig zwei Dehnungsmesser gegenüberliegend zu befestigen, so bedient man sich der in der Abb. 38 gezeigten Doppelklammer *B* 1.

Die Anordnung von zwei Dehnungsmessern ist besonders bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls empfehlenswert.

Wie bereits hervorgehoben, ist die Meßlänge der Aufgabe anzupassen. Mit Hilfe besonderer Verlängerungsstangen *C* kann die Meßlänge auf 50, 100, 200, 500 und 1000 mm eingestellt werden.

## 10. Das Formveränderungsvermögen (Dehnung, Kontraktion).

### a) Die Dehnung.

Es ist leicht einzusehen, daß der nach vollzogenem Zugversuch gewonnene Dehnungswert an sich keine Gewähr für die Sicherheit einer Konstruktion bietet. So weist ein ungeglühter Stahlguß dieselbe Dehnung und dieselbe Kontraktion auf wie der geglühte; seine Empfindlichkeit gegen stoßweise Kerbbeanspruchung ist jedoch so ausgeprägt, daß sie gegen seine Verwendung spricht (Abschnitt 47). Auch die meistens mit außergewöhnlicher Genauigkeit ermittelten Dehnungen geben dem Konstrukteur keineswegs brauchbare Zahlenwerte als Berechnungsgrundlage.

Es darf nun andererseits der technische Wert dieser bildsamen Verformungsvorgänge nicht unterschätzt werden; denn die Verformungsgröße (der Dehnung und Kontraktion) gibt dem Abnehmer ein untrügliches Bild von der Reinheit und Gleichmäßigkeit des Werkstoffes und dem Hersteller wertvolle Hinweise für jedes Formgebungsverfahren. Man ist in der Praxis zu der außerordentlich wichtigen Feststellung gelangt, daß das Formänderungsvermögen diejenige Eigenschaft eines Werkstoffes ist, welche die Wirkung von Unebenheiten, Übergängen und sogar die scharfer Kerben zu mildern vermag. Gußeisen, das ja von besonders spröder Natur ist, bricht dagegen bei Abweichung von etwa 3° zentrischer Zugbelastung bei 30 bis 50% geringerer Zugfestigkeit an irgendeiner geringfügigen Riefe oder Fehlstelle.

### b) Dehnungsmesser.

Im allgemeinen begnügt man sich bei Abnahmeversuchen mit der Ermittlung der Dehnung eines zerrissenen Probestabes, d. h. mit der tatsächlichen plastischen Verformung. Zu diesem Zwecke muß vor Beginn des Versuches der Probestab auf dem für die Dehnungsmessung bestimmten Stabteil entsprechend eingeteilt werden. Die Meßlänge  $C$  wird innerhalb der Gebrauchslänge  $B$  aufgetragen (Abb. 39). Die Meßlänge selbst wird zweckmäßig mit einer

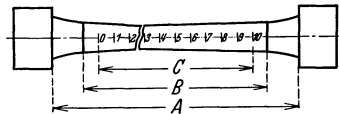


Abb. 39.  
Interpolieren eines im äußeren Drittel zerrissenen Probestabes.

gleichmäßigen Einteilung (5 oder 10 mm) versehen, die durch eine Reißnadel hergestellt wird. Ein Behelfsmittel stellt die sog. Ratsche dar (Abb. 40). Zur Vermeidung von Zeitverlusten verwendet man eine Teilmaschine, die für jede Materialprüfung eine Erleichterung und Genauigkeit der Einteilung verbürgt (Abb. 42). Die Instrumente zur Auftragung der Körner oder gesamten Einteilung müssen mit großer Vorsicht



Abb. 40. Ratsche, ein Hilfsmittel zur Herstellung einer Stabeinheit.

gehandhabt werden; denn zu tiefe und zu scharfe Anrisse werden durch ihre Kerbwirkung einen unerwünscht frühzeitigen Bruch hervorrufen (Abb. 41).

**Teilmaschine für Probestäbe.** Man kann auf dem Apparat die üblichen Rundstäbe mit oder ohne Kopf sowie Flachstäbe teilen. Die Marken werden gerissen (nicht geschlagen) und stellen sich deshalb als Linien dar, deren Stärken von dem den Stichel belastenden Gewicht abhängt.

Der Stichel kann der Höhe nach vor- oder rückwärts eingestellt werden. Auch die Strichlänge läßt sich ändern, dagegen werden alle Marken unter sich gleich lang. Die Marken können von cm zu cm oder von  $\frac{1}{2}$  cm zu  $\frac{1}{2}$  cm gezogen werden. Ist der Probestab eingespannt, so wird der Schlitten, der ihn trägt, nach rechts geschoben, und die vorn

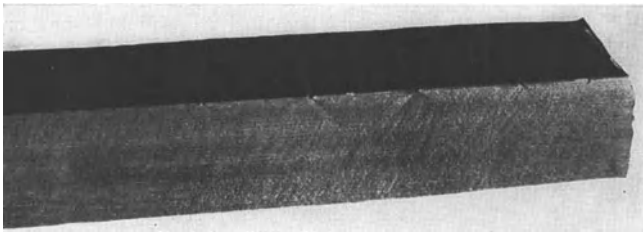


Abb. 41. Vorzeitiger Bruch eines Probestabes infolge Kerbwirkung, hervorgerufen durch zu tiefe und scharfe Marken. An jedem Riß wurde schon der Bruch eingeleitet.

sichtbare Kurbel wird gedreht. Bei jeder Umdrehung wird der Schlitten nach links geschoben und eine Marke gezogen.

Der Schlitten legt im Maximum einen Weg von 35 cm zurück. Um längere Teilungen auszuführen, wird der Schlitten in die Anfangsstellung zurückgebracht, der Probestab entsprechend verschoben, wieder festgeklemmt und weiter geteilt.

Um die Dehnung des Probestabes nach dem Bruch bequem messen zu können, werden die beiden Bruchstücke wie zum Teilen auf den Schlitten gelegt. Zwei besondere Unterlagen unterstützen den Probestab in der Nähe der Bruchstelle, so daß die Bruchstücke leicht zu einem Ganzen zusammengeschoben werden können. Die Unterlagen brauchen während des Teilens nicht von der Maschine entfernt zu werden (Abb. 42).

Besonders bei der Abnahme wird darauf Wert gelegt, den Bruch eines Probestabes in das mittlere Drittel der Meßlängeneinteilung zu legen, soll nicht ein Teil des an dem Bruch liegenden stärker gedehnten Stabteiles bei der Auswertung unberücksichtigt bleiben. Um den Bruch mit Sicherheit in das mittlere Drittel der Meßlänge zu verlegen, pflegt man diesen Stabteil gerade auf den gewählten Stabquerschnitt um 0,02 mm zu verjüngen. Wie später nachgewiesen wird, kann man die dadurch entstehende geringe ungünstige Beeinflussung der Dehnung

vernachlässigen. Aber ganz abgesehen von dem fraglos dehnungsfördernden Einfluß der um und in der Einschnürungsstelle gelegenen Stabteile wirken die Konus- und Stabkopfverdickungen dehnungshemmend. Wird aber durch irgendeine Inhomogenität der Bruch dennoch in den äußeren Dritteln eingeleitet, so kann eine Aufrechnung der in der Dehnung behinderten Stabteile vorgenommen werden. Da erfahrungsmäßig nachgewiesen ist, daß in der Regel die einzelnen Stabteile symmetrisch links und rechts von der Bruchstelle gedehnt werden, so können die in Abb. 39 unter 2 bis 0 fehlenden Dehnungen ergänzt werden. Auf der

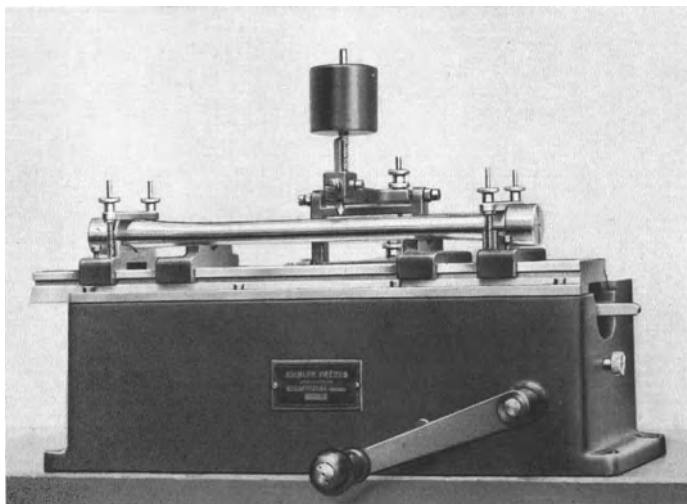


Abb. 42. Teilmaschine, Bauart Amsler.

rechten Bruchseite liegen nur 2 Teilungsintervalle, auf der linken 8. Denkt man sich den Bruch in der Mitte einer Meßlänge, so müßten auf der rechten Seite 3 Intervalle gleicher Dehnung, wie links vom Bruch 4—7, hinzugefügt werden. Die errechnete Verlängerung wäre demnach wie folgt:

Als Beispiel diene ein Versuch, der nach Abb. 39 verlaufen sei:

Teilintervall 1—2 in Millimeter = . . . . .	32
„ 3—7 „ „ = . . . . .	56
„ 4—7 für die fehlenden Intervalle rechts vom Bruch eingesetzt .	36
	124 mm

Die Dehnung von Intervall 1 bis 10 als Ganzes ausgemessen, ergab nur 116 mm.

Es ist nicht anzunehmen, daß sich alle Abnehmer mit solcher, wenn auch einwandfreien Aufrechnungsmethode begnügen. Es bleibt dann

freilich nichts anderes übrig, wie in manchen Abnahmevorschriften vorgesehen, bei ungünstigem Ausfall der Dehnung Ersatz- oder Kontrollversuche vorzunehmen. Hierbei mag es allerdings vorkommen — wenn die Kontrollprobestäbe von demselben Probestück und in derselben Richtung entnommen werden — daß sie alle infolge gleicher innerer Gefügeabstufungen oder gleicher quer zur Stabachse liegender Fehler (Schlackenadern, Seigerungen) auch denselben Bruchverlauf aufweisen. Es ist aber besonders darauf hinzuweisen, daß alle Werkstoffvorschriften

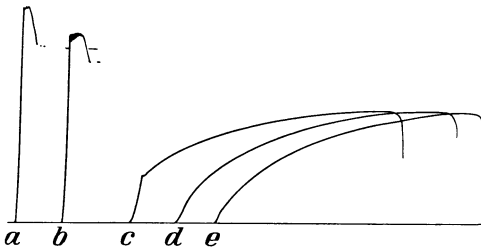


Abb. 43. Die geringe Dehnung eines gehärteten Werkzeugstahles (a b) und die mehr als 40% betragende Dehnung von 3 verschiedenen Kupferrohren, werden durch typische Spannung-Dehnungs-Schaubilder deutlich wiedergegeben.

bei der Festlegung der Dehnungsziffer den Bruch im mittleren Drittel voraussetzen. Dehnungsergebnisse, aus Verlängerungen von im äußeren Drittel gerissenen Stäben gewonnen, bieten kein Kriterium für die Eigenschaften eines Werkstoffes. Werden daher Dehnungsergebnisse später ausgewertet, dann sollte der Ab-

nehmer stets die Lage des Bruches in seinen Bericht aufnehmen.

Im übrigen können nötigenfalls durch die Spannung-Dehnungs-Schaubilder nicht gut feststellbare Dehnungen roh nachkontrolliert werden (Abb. 43).

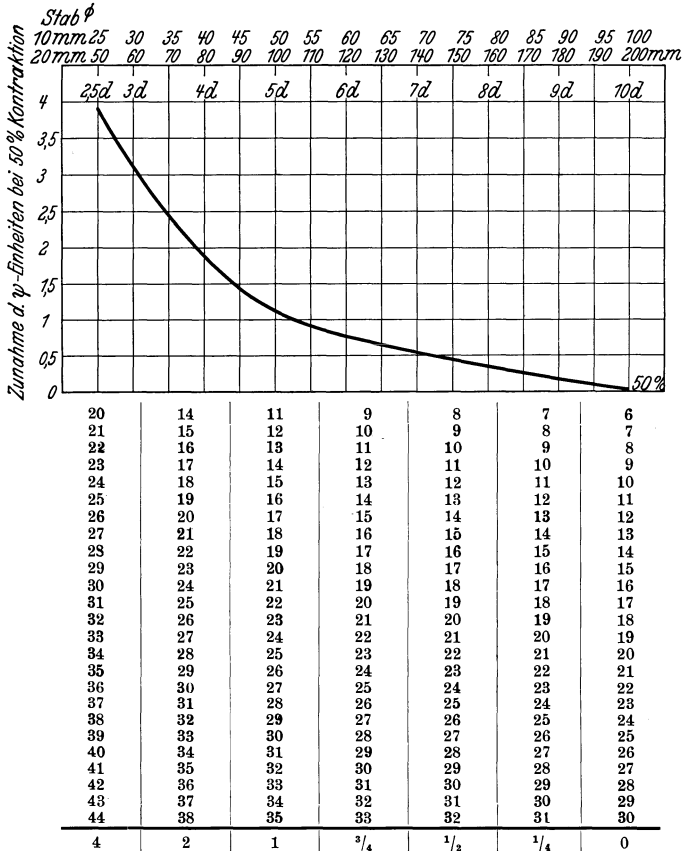
### c) Die Meßlänge.

Die Dehnungsgröße ist zunächst von dem Verhältnis des Stabquerschnittes  $f_0$  zur Meßlänge  $l_0$  in weitgehendem Maße abhängig. Die Meßlänge ist der Teil eines zylindrisch gedrehten Probestabes, der durch Markierungen für die Berechnung der Bruchdehnung begrenzt ist. Sie kann wegen ihres starken Einflusses auf die Versuchsergebnisse nicht willkürlich gewählt werden, sondern unterliegt internationalen bzw. privaten Vereinbarungen zwischen Herstellern und Verbrauchern. In Deutschland sind solche Vereinbarungen in den DIN angegeben. Die Unterschiede der Versuchsergebnisse aus verschiedenen Meßlängen sind nach Abb. 44 so bedeutend, daß es keiner Erläuterung bedarf, warum ein einheitliches Vorgehen angezeigt ist.

In Deutschland und in den Grenzländern gelangt vereinbarungsgemäß der sog. Normalstab, der eine Meßlänge von 200 mm und einen Stabdurchmesser von 20 mm aufweist, zur Anwendung. Dieser als Langstab ( $10 d = 10 \times$  Durchmesser) bezeichnete Probestab wird aus Ersparnisgründen nach DIN und anderen Vorschriften auch mit 100 mm Meßlänge als Kurzstab ( $5 d = 5 \times$  Durchmesser) zugelassen. Nun werden nach dem Gesetz der proportionalen Widerstände (Kick)

geometrisch ähnliche Körper (vorausgesetzt wird derselbe Werkstoff) durch Spannungen auch geometrisch ähnlich verändert. Man kann demnach, um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erhalten, beliebige

Abb. 44. Umrechnung von Dehnungswerten auf verschiedene Meßlängen.



Umrechnungstafel für Dehnungswerte bei 50% Kontraktion.

Unter  $\psi$ -Einheiten werden je 10% Kontraktion verstanden, wie sie die Dehnungswerte günstig oder ungünstig beeinflusst. Die Kurve stellt diese Beeinflussung bei 50% Kontraktion dar. Entsprechende Zahlentafel für die verschiedenen Meßlängen darunterstehend angeben. Sollen z. B. 20% Dehnung bei 10d auf 5d bei einer Kontraktion von 70% umgerechnet werden, dann sind nach unserer Tabelle  $25 + 2 \times 1 \psi$ -Einheiten = 27% Dehnung als Erfahrungswerte zu erwarten, oder sind 16% Dehnung bei 10d auf 4d bei einer Kontraktion von 30% umzurechnen, dann ergäbe die Tabelle  $24\% - 2 \times 2 = 4$  Einheiten = 20% Dehnung (Zahlentafel 4). Es wären demnach auf je 10% Kontraktion über 50% entsprechende  $\psi$ -Einheiten hinzuzuzählen und umgekehrt auf je 10% Kontraktion unter 50% abzuziehen.

Abmessungen der Probestäbe wählen, wenn nur die Meßlänge ihr proportionales Verhältnis zum Stabdurchmesser behält. Man spricht dann vom Proportionalstab. Ähnlich wie Deutschland haben auch andere

Länder Normalstäbe geschaffen und von diesen ausgehend Proportionalstäbe zugelassen (s. auch Abb. 15).

Bei Rundstäben besteht die einfache Beziehung zwischen Meßlänge  $l$  und Ursprungsquerschnitt  $f_0$ , daß bei  $11,3\sqrt{f_0}$  die Meßlänge den 10fachen Durchmesser und bei  $5,65\sqrt{f_0}$  den 5fachen Durchmesser ausmacht. Bei Flachstäben werden dieselben Beziehungen gewählt. Demnach würde ein Flachstab von einem Querschnitt von  $314\text{ mm}^2$  eine Meßlänge von 200 mm (bei  $11,3\sqrt{f_0}$ ), bzw. von 100 mm (bei  $5,65\sqrt{f_0}$ ) erhalten müssen.

Nicht selten herrscht bei Käufern und Verkäufern, bei Herstellern und Abnehmern völlige Unklarheit über die Bedeutung der verschiedenen Meßlängen. Auf Grund von Häufigkeitsziffern ist nun in Zahlentafel 4 versucht worden, eine gewisse Ordnung in die Auswertung und Umrechnung der Ergebnisse bei verschiedenen Meßlängen zu bringen. Dies war um so mehr möglich, als eine große Anzahl von Proben zur Beobachtung zur Verfügung stand. Wie beim Lillschen Versuch wird auch hier die Einschnürung eines Probestabes für die Umrechnung herangezogen (Abb. 44).

#### d) Die Kontraktion (Einschnürung).

Eine für die Abnahmetechnik wichtige und durch keine äußere Beeinflussung wandelbare Eigenschaft ist die Kontraktion. Sie gibt das prozentuale Verhältnis des Anfangs- zum Bruchquerschnitt an. Wenn  $f_0$  den ursprünglichen Querschnitt,  $f$  dagegen den Bruchquerschnitt eines Stabes bedeutet, dann ist die Kontraktion  $= \frac{f_0 - f}{f_0} \times 100\%$ .

Während der Durchführung eines Zugversuches wird nach Erreichen der Höchstlast an irgendeiner Stelle des Probestabes durch örtliche Verengerung des Querschnittes der Bruch vorbereitet. Wieweit irgendwelche Inhomogenitäten oder unmerkliche und unbeabsichtigte Querschnittschwächungen die Kontraktions- bzw. Bruchstelle bestimmen, ist zumeist nicht feststellbar.

Nicht selten ist der Grad der Kontraktion als Faktor des Formänderungsvermögens für den Ausgang eines Zugversuches verantwortlich. Der Kontraktion ist auch die Schuld beizumessen, daß gewisse Werkstoffe bei kleinen Meßlängen bedingungsgemäß sind, aber bei großen Meßlängen versagen. Es ist daher bei Freistellung in der Wahl der Meßlänge die Probeform stets der Werkstoffart anzupassen.

In Abb. 45 werden ein Siemens-Martin-Stahl und ein qualitativ höherstehender Chrom-Nickel-Stahl verglichen. Beide Werkstoffe konnten nach Vorschrift für bestimmte Werkstücke Verwendung finden. Dehnungsvorschrift war 18% bei 10facher und 22% bei 5facher Meßlänge. Der Siemens-Martin-Stahl entsprach bei 5facher, der Chrom-Nickel-Stahl bei



10facher Meßlänge nicht den Bedingungen. Grund ist die verschiedene Kontraktion an der Bruchstelle. Man kann sagen: Weichere Werkstoffe, Stahl und Nichteisenmetalle, zeigen auch dann, wenn sie grobkristallinisch sind, eine gleichmäßige Dehnung auf der ganzen Meßstrecke. Genau so verhalten sich weichere Stähle, die während eines normalen Schmiede-Walz- oder Ziehprozesses ausgeglüht sind. Im Gegensatz dazu zeigen alle kaltverformten oder bei zu niedriger Temperatur warmverformten und alle vergüteten Werkstoffe eine auffallend hohe Kontraktion und geringe Dehnung auf der ganzen Meßstrecke mit Ausnahme der Bruchzone. Denn sowohl das Korn des vergüteten, als auch das des durch Schmieden zertrümmerten Stahles ist sehr klein und setzt jeder Verformung einen größeren Widerstand entgegen als das große Korn, das durch Knitterung der Staboberfläche ein individuelles Verhalten zeigt. Man übersehe bei diesem eigenartigen Verhalten auch nicht, daß die Summe der Grenzen der Kleinkristalle desselben Stabvolumens größer ist als die der Großkristalle. Werkstoffe mit Charakteristiken der Kleinkristalle haben eine ausgeprägt hohe Streckgrenze.

Bei unvergüteten Werkstoffen erreicht man trotz allgemeiner Dehnung auf der ganzen Meßstrecke eine hohe Kontraktion im Glühzustand des körnigen Perlits (Abschnitt 46 u. 48). Dann werden Einschnürungen an der Bruchstelle bei weicheren Stählen von 70 % gemessen. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt jedoch vermindert sich die Kontraktion auf ein Minimum unmeßbarer Größen.

Kontraktionshindernd wirken alle Materialfehler, gleichgültig ob es sich um örtliche Verunreinigungen, Einschlüsse oder äußere kerbwirkende Beschädigungen handelt. Diese Behinderung wächst erheblich mit der Festigkeit, stark geseigerte Stähle haben ein geringes Verformungsvermögen. Der geseigerte Kern verhält sich bei der Quersammenziehung wie eine härtere Einlage mit weicherer Umhüllung. In diesem Zustand des erhöhten Verformungswiderstandes der inneren Zone wird die Kontraktion unerwartet gering ausfallen (Abb 50).

Alle Werkstoffvorschriften erwähnen die Kontraktion zwar als Ausdruck hohen Formänderungsvermögens und damit als Beweis des hohen Reinheitsgrades eines Werkstoffes. Indes nur wenige Vorschriften haben die Kontraktion als maßgeblichen Beurteilungsfaktor für die Abnahme ausersehen. Man ist sich offenbar über ihren Wert als

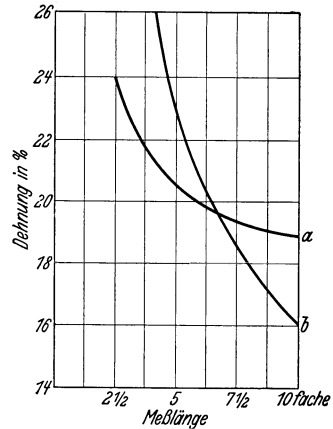


Abb. 45. Abhängigkeit der Dehnung von der Kontraktion bei verschiedenen Meßlängen und Werkstoffen, z. B. a S.-M.-Stahl, geglüht mit 32 % Kontraktion; b Cr.-Ni.-Stahl, vergütet, mit 74 % Kontraktion.

Gradmesser der Zähigkeit noch nicht einig geworden, obschon die festen Beziehungen zwischen Kontraktion und Kerbschlagarbeit bekannt sind. Mag sein, daß einige Ausnahmen die gesetzmäßigen Erscheinungen der Kontraktion nicht bestätigen und dieses Verhalten der Einführung der Kontraktion als Abnahmebedingung entgegenstand. So wird an einem ungeglühten, also grobkristallinen Stahlguß höheren Reinheitsgrades nicht nur eine merkwürdig hohe Längsdehnung über die ganze Meßlänge, sondern auch eine zahlenmäßig hohe Quersammenziehung gemessen, obgleich die Zähigkeit, gemessen an der Kerbschlagprobe, einen auffallend niedrigen Wert gibt. Immerhin sei nicht vergessen, daß hier dynamische, dort aber statische Verformungsarbeit verschiedene Sondereigenschaften klarstellt, deren genaue Definition und konstruktive Verwertung keineswegs feststeht.

In ausländischen Abnahmevorschriften, insbesondere in amerikanischen, hat die Kontraktion eine maßgebliche Bedeutung für die Werkstoffabnahme. Die vorgeschriebenen Zahlenwerte sind dabei so niedrig gehalten, daß sie keine besonders hohe Forderung bedeuten. So werden in A. S. T. M. für Stahlguß, je nach Festigkeit 25 bis 35 %, für geglühten Lokomotivbaustahl 24 bis 28 %, für vergüteten Kohlenstoffstahl 35 bis 39 %, für vergüteten Chrom-Nickel-Stahl 50 % vorgeschrieben. Bei Entnahme der Probe quer zur Schmiedefaser hat man merkwürdigerweise die Kontraktion nicht vorgeschrieben. Gerade hier dürfte sie über den Reinheits- und Durchschmiedungsgrad am besten aufklären; denn schiefrige und flockige Brüche pflegen nie nennenswerte Einschnürungen zu zeigen (Abb. 50).

### e) Die Güteziffer als Qualitätsfaktor.

Werden durch Zufall die Festigkeitsgrenzen um ein geringes unter oder überschritten, so kann der Werkstoff als nicht bedingungsgemäß zurückgewiesen werden. Diese Härte ist um so mehr zu bedauern, als der Besteller unter Umständen einen qualitativ wertvolleren Werkstoff für einen minderen in Kauf nehmen muß. So mußte ein Stahl von

61,4 Zugfestigkeit und 26,5% Dehnung

zurückgewiesen und dafür ein Stahl von

51,7 Zugfestigkeit und 24,6% Dehnung

eingesetzt werden.

Die Vorschrift war: 50/60 Festigkeit und 24% Dehnung.

Die Überlegenheit des verworfenen Stahles über den abgenommenen ist ohne weiteres einzusehen.

Die recht scharf und manchmal auch eng umgrenzten Gütevorschriften werden in einzelnen Fällen durch Einschaltung der sog. Güteziffer gemildert. Sie ist zumeist eine aus zwei Gütefaktoren errechnete Kennziffer, die Festigkeit gegen Dehnung oder Dehnung gegen Festigkeit

eintauscht. Ohne dem Verbraucher zu schaden, kann die Güteziffer für den Hersteller von großer wirtschaftlicher Bedeutung sein.

Von einigen Werkstoffen (für Kesselbleche) abgesehen, wäre der Einführung der Güteziffer mehr das Wort zu reden. Bei vernünftiger Festsetzung der Güteziffer wird man nicht in konstruktiv unzulässige Festigkeiten geraten, weil ja schließlich die sinkende Dehnung bei zunehmender Festigkeit eine natürliche Grenze setzt.

Die Güteziffer wird nach den Bedingungen von Lloyd's Register erhalten, indem die Summe von  $0,64 \times$  Zugfestigkeit und der an einem Normalprobestab gemessenen prozentualen Dehnung festgestellt wird. Ähnlich errechnen auch andere Abnahmevorschriften die Güteziffer. Es wäre zu überlegen, ob nicht noch andere Gütefaktoren zu ihrer Errechnung herangezogen werden könnten.

## 11. Das Bruchaussehen, eine Festigkeitskennzeichnung.

Der Praktiker ist immer geneigt, das Bruchaussehen als kennzeichnend für den Qualitätsunterschied der Werkstoffeigenschaften und Werkstoffzustände zu halten.

Dies mag auch um so mehr richtig erscheinen, als sich in der Tat in den Bruch- und Kontraktionsformen, sowie Fließerscheinungen bestimmte Gesetzmäßigkeiten feststellen lassen. Man wird aber zu falschen

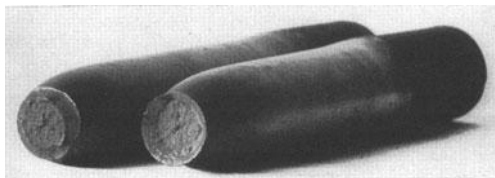


Abb. 46. Trichterförmiger Verformungsbruch eines weichen Flußstahles. Festigkeit 37,5, Dehnung 34% (5 d).

Folgerungen kommen, wenn man die Brucherscheinung nur als einfaches Ergebnis eines Bruches infolge Überbeanspruchung eines Werkstoffes ansieht. Sie ist vielmehr der Ausdruck der Eigentümlichkeiten eines Werkstoffes und der verschiedenen Ursachen, die zum Bruch geführt haben. Sind diese unbekannt, so können aus den Bruchformen nur unsichere Rückschlüsse auf den Werkstoff selbst gezogen werden. Wenn aber neben den praktischen Erfahrungen gewisse theoretische Grundsätze berücksichtigt werden, dürften die Brucherscheinungen die zahlenmäßigen Feststellungen wertvoll ergänzen. Aus diesem Grunde wird in der Abnahmepraxis das Bruchaussehen neben der Bruchlage besonderer Betrachtung unterzogen und häufig protokollarisch festgelegt. Mit Rücksicht auf zutreffende Beurteilung von Werkstoffen sind solche Feststellungen berechtigt und erwünscht.

Denselben Werkstoff vorausgesetzt, gelangt man durch Vergleich des Bruchaussehens von einer Zug-, Biege-, Kerbschlag- und Dauerschlagprobe zu dem merkwürdigen Ergebnis, daß sie keineswegs ähnlich

sind. Der statische Zugversuch gibt dem weichen Werkstoff Gelegenheit, sich vollständig als Verformungsbruch auszubilden (Abb. 46); der statische Biegeversuch kann durch die Kerbwirkung infolge einseitiger Überbeanspruchung nur einen kristallinen Trennungsbruch auslösen.

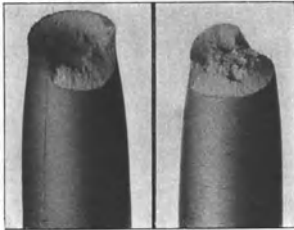


Abb. 47.

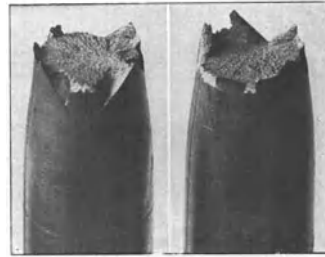


Abb. 48.

Abb. 47 und 48. Proben mit zackigem Bruchrand. Abb. 47 weicher, Abb. 48 härterer Stahl.

Hierbei fällt das auf der Zugseite befindliche gröbere Korn und auf der Druckseite das durch Quetschung gedrückte kleinere Korn auf. Die Kerbschlagprobe wird bei diesem Werkstoff an den Rändern durch Verformung, im Kern durch Trennung der Kristalle gekennzeichnet. Die

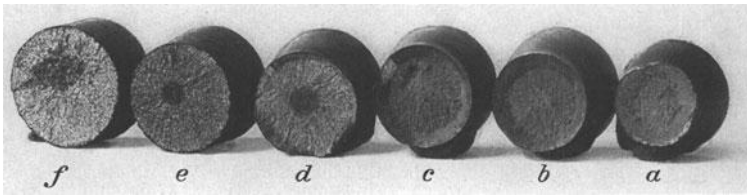


Abb. 49. Bruchgefüge von Probestäben aus Stählen verschiedenen Kohlenstoffgehaltes bzw. verschiedener Festigkeit.

Dauerschlagprobe zeigt Bruchgefüge ohne wesentliche Verformung nach bestimmten Richtungen.

Den Abnehmer interessiert zunächst die aus dem Zugversuch gewonnene Bruchform. Diese wird dann als kennzeichnend für einen besonders guten Werkstoff angesehen, wenn sie trichterförmig verläuft (Abb. 46). Das Gegenstück muß dann ein Kegel bzw. Pyramide sein. Nun mag es vorkommen, daß bei demselben Werkstoff und denselben Formänderungen der Bruch nicht trichterförmig, sondern zackig ausfällt. Metallographisch lassen sich jedoch qualitative Unterschiede nicht nachweisen und die abweichende Form nicht begründen (Abb. 47 und 48). Die in Abb. 49 mit der Festigkeit bzw. mit zunehmendem C-Gehalt verringerte Randhöhe verschwindet mit stark abnehmender Einschnürung überhaupt. Betrachtet man das Bruchgefüge der in Abb. 49 nach dem C-Gehalt bzw. nach der Zugfestigkeit geordneten Zugproben,

dann wird bei geringerem *C*-Gehalt, normale Glühung vorausgesetzt, ein vollständiger Verformungsbruch eintreten. Mit Zunahme des *C*-Gehaltes verliert sich der Verformungsanteil bis zu einem zentralen Kern oder verschwindet ganz. Der kristallinische Trennungsbruch deutet

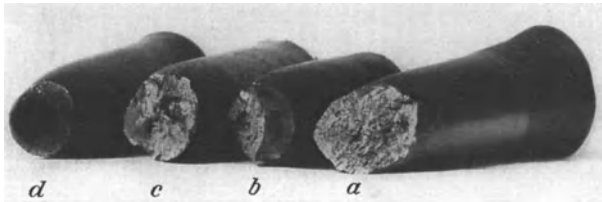


Abb. 50. Fehlerhafte Brüche, hervorgerufen durch Verunreinigungen bzw. Verletzungen. *a* schiefer Bruch; *b* weißliche Seigerungsadern; *c* flockiger Bruch; *d* durchbohrte Probe.

auf Sprödigkeit und bei normaler Wärmebehandlung des Werkstoffes auf hohe Festigkeit.

Nicht selten wird der in den Brüchen (Abb. 49 *d, e, f*) gezeigte dunkle Verformungskern zu unrecht als Werkstofffehler angesprochen. Hierzu

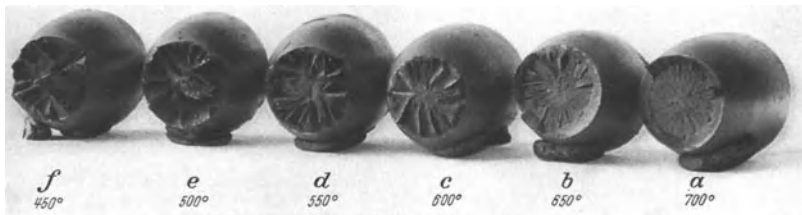


Abb. 51. Bruchgefüge von Zugproben aus Cr.-Ni.-Stahl, vergütet, jedoch verschieden angelassen. Das fräserartige Gebilde wird nach den niedrigen Anlaßtemperaturen zu immer schärfer ausgebildet, so daß sich bei 400 und 500° die Zahnfurchen als Risse in die gebrochenen Stabteile fortpflanzen.

sei, wie oben angedeutet, bemerkt, daß Beobachtungen und physikalische Vorgänge dafür sprechen, daß der Kern eines Probestabes nicht nur zuerst zu Bruch geht, sondern auch stärker verformt wird. Bei stärkerer Verformung erfolgt der Bruch in den Korngrenzen, bei geringerer durch die Kristalle hindurch. Die Spannungsauslösung des Überganges von dem dunklen, verformten zum kristallinischen Anteil geschieht nach den Gesetzen der Kerbwirkung plötzlich. Bei vergüteten, insbesondere legierten Stählen werden bis zu höchsten Festigkeiten Verformungsbrüche gefunden. Aus diesen ist weder die chemische Zusammensetzung noch ihre Zugfestigkeit zu erkennen. Das Charakteristikum der Vergütung, die Sternbildung, mag als Höhe der Anlaßtemperatur bewertet werden, denn mit steigenden Anlaßtemperaturen verschwinden die radial verlaufenden Rippen zuletzt ganz (Abb. 51). Tiefliegende radiale Furchen, die sich nicht selten achsial als Riß fortsetzen, haben für die Vergütung stets dieselbe Bedeutung wie die einer tiefen Anlaßtemperatur (Abb. 51 *f*).

Nicht immer werden die Brüche von Zugproben solche gesetzmäßigen Unterschiede zeigen und eine zuverlässige Beurteilung der Eigenschaften und Zustände gestatten. Diese Brüche haben nach Abb. 50 ein schiefriges (a), schwammiges oder flockiges (c) Aussehen oder zeigen weiße Stellen (b). Man hat es dann mit charakteristischen Merkmalen von Verunreinigungen zu tun. Solche Stähle weisen eine verhältnismäßig geringe Kontraktion und zumeist eine stark verminderte Dehnung auf (Abschnitt 49).

## 12. Die Warmfestigkeit und ihre Prüfung.

Nach dem heutigen Stand des Kessel- und Maschinenbaues darf es nicht wunder nehmen, wenn die Frage nach dem Verhalten der Werkstoffe bei Betriebstemperaturen aufgeworfen wird. Die Beantwortung dieser Frage hatte ein enges Zusammenarbeiten zwischen Verbrauchern und Herstellern zur Folge. So hat die Vereinigung der Großkesselbesitzer e. V. eine eigene Vertretung geschaffen, die in enger Fühlungnahme mit der Industrie die erforderliche Voraussetzung für die Sicherheit einer modernen Anlage schaffen soll. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, daß die alten Werkstoffprüfmethoden und die bisherige Kenntnis der mechanischen Eigenschaften zur Beurteilung der Brauchbarkeit eines in der Wärme hochbeanspruchten Werkstoffes nicht ausreichen. Die Abnahmevorschriften glaubten eine genügende Sicherheit darin zu finden, wenn sie unter Berücksichtigung der Festigkeits- und Streckgrenzenverhältnisse bei Raumtemperatur eine vielfache Sicherheit einsetzten.

Da aber bestimmte Kesselteile einer Erhitzung von mehr als 400° und andererseits Betriebsdrücken von über 100 Atm. ausgesetzt werden, verschließen sich weder Hersteller noch Verbraucher der Notwendigkeit einer Nachprüfung der rechnerischen Unterlagen.

Man kennt die starken Veränderungen der Eigenschaften bei höheren Temperaturen und versucht nun durch die Ermittlung der Warmfestigkeitsverhältnisse neue die Sicherheit gewährleistende Grundlagen ausfindig zu machen. Zunächst ist es die mit zunehmender Temperatur stetig absinkende Warmstreckgrenze, die dem Konstrukteur einwandfreie Anhaltspunkte für die zulässigen Beanspruchungen bei höheren

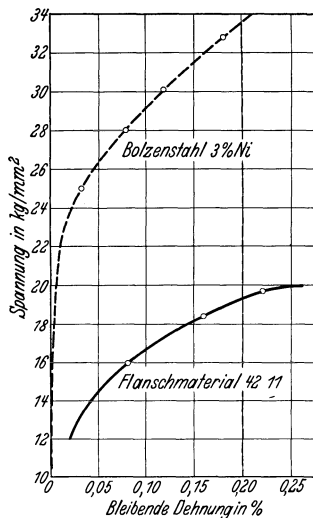


Abb. 52. Zugversuch mit Feinmessung bei 425° C an 2 verschiedenen Werkstoffen. 3 bzw. 4 Meßpunkte.

Temperaturen an die Hand gibt. Zumeist wird es nicht mehr möglich sein, ihre genaue Lage durch den bei Raumtemperatur deutlich erkennbaren Spannungsabfall festzustellen; man muß dann die umständliche Ermittlung der 0,2-Grenze mit Hilfe von Feinmeßgeräten vornehmen (Abschnitt 8). Als Warmstreckgrenze gilt nun nach DVM. die bei anzugebender Temperatur und 3 bzw. 5 Minuten dauernder Belastung erreichte Spannung in  $\text{kg}/\text{mm}^2$  bei einer bleibenden Dehnung von 0,2%.

Auß Gründen der Zeitersparnis pflegt man heute nicht so zu verfahren, daß man eine große Anzahl hintereinander liegende Belastungspunkte feststellt, sondern verfährt nach Abb. 52 so, daß durch eine

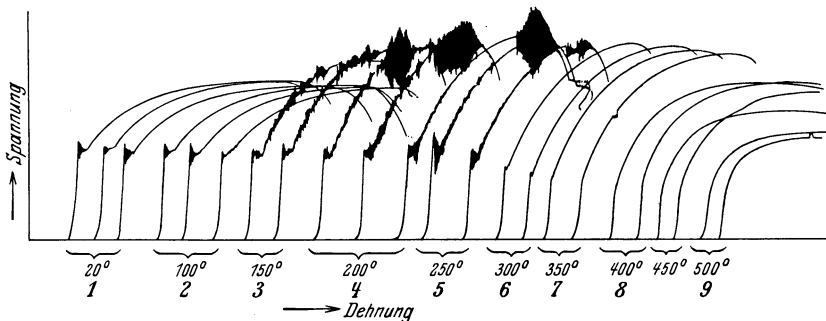


Abb. 53. Spannungsdehnungsschaubilder bei verschiedenen Temperaturen von demselben Stahl gewonnen. An den Schaubildern der Proben 3, 4 und 5 wird außer einem deutlichen Spannungsabfall ein krampfhaftes auf und ab der Spannungen bis etwa zur Höchstlast festgestellt. Bei gesteigerter Temperatur verschwinden diese beiden Symptome des Zerreißvorganges vollständig. Werkstoff: härterer Flußstahl.

3 bis 4 Punkte verbindende Linie mit einiger Genauigkeit die 0,2- oder eine andere Dehngrenze ermittelt werden kann.

Die Spannungsdehnungsschaubilder (Abb. 53) deuten die merkwürdigen Zerreißvorgänge bei höheren Temperaturen. Ins Auge fällt der unruhige Verlauf des Zerreißvorganges im sog. Blaubruchgebiet. Die häufig Unterschiede bis zu  $10 \text{ kg}/\text{mm}^2$  zeigende obere und untere Spannungsgrenze (Abb. 53) ist keineswegs aus einer Vibration maschineller Teile zu erklären, sondern kann nur als eine ruckweise Verformung des Werkstoffes in diesem wenig geklärten Temperaturgebiet aufgefaßt werden. Oberhalb dieses Gebietes ist ein Spannungsabfall und damit die Streckgrenze nicht mehr mit Sicherheit zu erkennen. Über Prüfverfahren bei höheren Temperaturen sind vom DVM Normen vorgeschlagen<sup>1</sup>.

Die Lage der Warmstreckgrenze hat heute eine entscheidende Bedeutung für die Wahl eines geeigneten Werkstoffes für bestimmte Werkstücke. Die gewöhnlichen Kohlenstoffstähle zeigen nach Abb. 54 einen recht erheblichen Abfall der Streckgrenze. Dieser ist

<sup>1</sup> Din — Vornorm — Entwurf 1 DVM-Prüfverf. A 112.

aber um so bedenklicher, als er nicht gesetzmäßig, sondern willkürlich auftritt. Da nun nicht ohne weiteres von der Kaltstreckgrenze

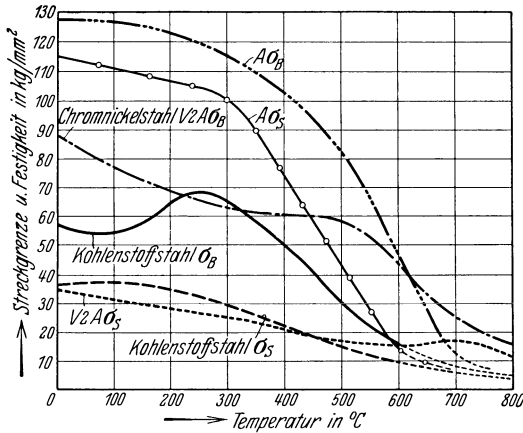


Abb. 54. Warmfestigkeit ( $\sigma_B$  und  $\sigma_S$ ) von zwei legierten und einem Kohlenstoffstahl.

auf die Warmstreckgrenze geschlossen werden kann, ist ihre Ermittlung bei jedem Werkstoff bzw. jeder Charge unumgänglich geworden. Die Charakteristiken der Warmfestigkeit der Kohlenstoffstähle können aus den Kurvenzügen der vorliegenden Untersuchungen entnommen werden (Abb. 54—59). Auffallend ist ihr Verhalten zwischen 200 und 300° (auch Abschnitt 42). In diesem Temperaturintervall werden entsprechend

der Festigkeitserhöhung Dehnung und Kontraktion verringert. Die qualitativ den Werkstoff

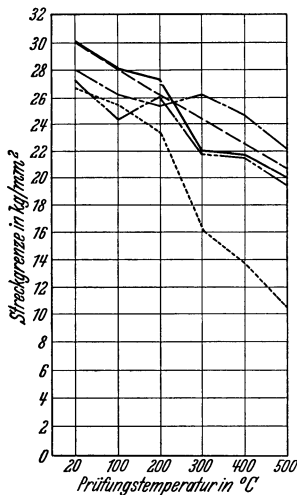


Abb. 55. Verhalten der Streckgrenze verschiedener Kesselblechsorten bei Temperaturen von 20—500° C (Belastungsgeschwindigkeit 0,05 kg/mm je Sek. nach Prömpfer und Pohl).

bestimmende Warmstreckgrenze vermindert sich bei gewöhnlichem Kohlenstoffstahl ohne Unterbrechung mit zunehmender Wärme. Wie aus den Abb. 54 und 59 ersichtlich, kann die Warmstreckgrenze durch Verwendung höherer Festigkeitssorten oder durch Vergütung höher gelegt werden, wenn nicht von dieser Erhöhung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen von ihrer Verwendung Abstand genommen werden muß.

Bei genauerer Betrachtung stellt sich nun freilich heraus, daß diese Erhöhung der Streckgrenze keine Qualitätssteigerung im Sinne der Warmfestigkeit darstellt, sondern eine aus dem steigenden Kohlenstoff resultierende höhere Festigkeit ist. Die durch Kohlenstoff verursachte Festigkeitssteigerung zieht aber schon bei Raumtemperatur (Abb. 59) eine entsprechende Streckgrenzerhöhung nicht nach sich, und bei Temperaturen über 300° wird das Verhältnis zwischen Festigkeits- und Streckgrenze mit zunehmendem Kohlenstoff immer ungünstiger (Abb. 59). Ja, nicht einmal viele

legierte Stähle, deren Streckgrenze bei Raumtemperatur sehr hoch liegt,



vermögen bei hohen Temperaturen von 500 bis 600° einen nennenswerten Gewinn in der Streckgrenzenerhöhung zu gewährleisten. Wenn der vergütete Chrom-Nickel-Stahl A (mit C 0,35 und Nickel 0,8; Chrom 1,8; Vanad. 0,4%) der Abb. 54 eine vierfache Streckgrenze gegenüber einem weichen C-Stahl bei Raumtemperatur aufweist, über 300° hinaus aber so starken Streckgrenzenabfall erleidet, daß sich bei 600° kaum noch ein Vorteil durch seine Verwendung ergibt, so muß die Frage nach der Lage der Warmstreckgrenze im Gebiet der Betriebstemperatur gestellt werden.

Qualitätsmindernd kommt bei Stahlsorten mit höherem Kohlenstoffgehalt und bei den meisten legierten Stählen hinzu, daß sie insbesondere bei Beanspruchungen quer zur Faser außergewöhnlich kerbempfindlich sind und dadurch ein ausgeprägtes Streugebiet aufweisen.

Legierungszusätze, wie Chrom, Nickel, Wolfram, Molybdän, Vanadium und bestimmte Wärmebehandlungen vermögen andererseits die Lage der Warmstreckgrenze so günstig zu beeinflussen, daß ihr starkes Absinken erst bei Temperaturen von 400 bis 500° beobachtet wird.

Stähle, wie in Abb. 54 dargestellt, finden allerdings nur für Sonderzwecke Verwendung. Auf der Suche nach solchen Werkstoffen, deren Warmstreckgrenze auch über 300° hinaus nicht wesentlich herabgesetzt wird, sind im letzten Jahrzehnt eine große Anzahl Stahllegierungen gefunden worden, die den neuen Forderungen der Verbraucher entgegenkommen. Abb. 55 bringt eine Anzahl warmfester Stähle, die — sogar noch geschweißt — nach den von

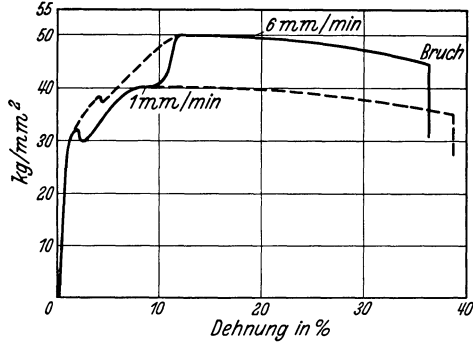


Abb. 56. Steigerung der Zugfestigkeit und Streckgrenze durch Versuchsgeschwindigkeit von 1 mm auf 6 mm Gesamtdehnung pro Minute bei einer Versuchstemperatur von +475° C. — tatsächlicher Verlauf; - - - - mutmaßlicher Verlauf der Spannungs-, bzw. Dehnungskurve.

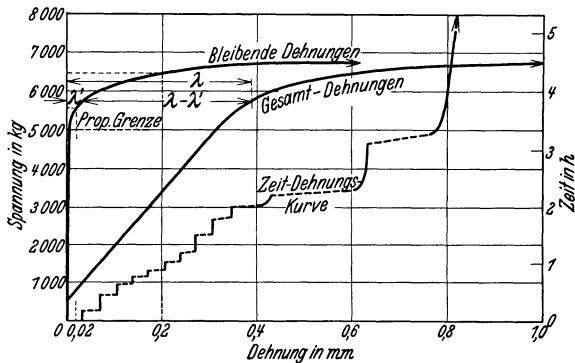


Abb. 57. Feinmaßversuch bei 250° C an einem Cr.-Ni.-Stahl mit Hilfe der Spiegelapparatur. Neben den Gesamtdehnungen, die in Beziehung zu den Belastungen gebracht sind, lassen sich an der Kurve der bleibenden Dehnungen die Proportionalitätsgrenze und 0,2-Grenze ablesen. Die Zeitdehnungskurve wurde gleichzeitig durch Beziehung von Spannung, Dehnung und Zeit gewonnen.

Prömper und Pohl, Borsigwerk, Oberschlesien, aufgezeichneten Kurven die erwünschten Wärmeigenschaften nicht vermissen lassen. Da es sich hier bei diesen ansehnlichen Erfolgen nur um geringe Prozentgehalte der Legierungselemente handelt, darf angenommen werden,

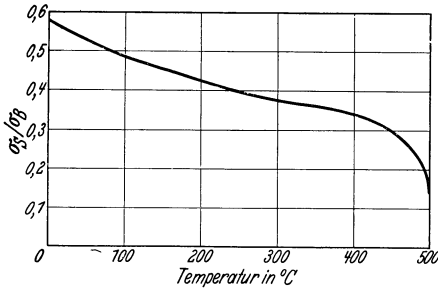


Abb. 58.

$$\frac{\text{Streckgrenze bzw. 0,2-Grenze warm}}{\text{Zugfestigkeit bei Raumtemperatur}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_B}$$

daß sich aus der Menge der angebotenen warmfesten legierten Stähle einige für den Massenbedarf unerheblich verteuerte herausfinden werden.

Durch die Erhöhung der Versuchsgeschwindigkeit wird die Kaltstreckgrenze nur um einen geringen Betrag gesteigert; bei der Warmstreckgrenze werden dagegen beachtenswerte Unterschiede festgestellt (Abb. 56). Es ist daher keineswegs von untergeordneter Bedeutung, welche Belastungsdauer bis zur Ermittlung der einzelnen Punkte gewählt wird.

In Berücksichtigung der Wichtigkeit des Zeitfaktors bei den Ermittlungen der Warmstreckgrenze werden nicht selten die Versuche auf

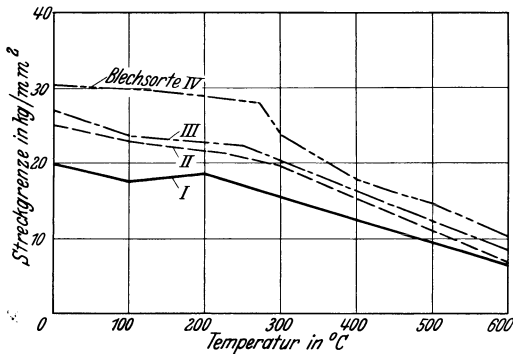


Abb. 59. Abfall der Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von der Blechsorte.

Stunden ausgedehnt. Nach Versuchen von Mailänder sollte man sich auf eine Zerreißdauer von mindestens 15 bis 20 Minuten einigen, um Vergleichswerte zu erhalten. Bei kürzerer Versuchsdauer sind Warmfestigkeitswerte ohne weiteres nicht mehr vergleichbar, da ein Absinken bis zu 15 kg/mm<sup>2</sup> zu erwarten sind. Aber

auch über die Dauer von 15 bis 20 Minuten hinaus ist ein weiteres Absinken von Warmfestigkeit und entsprechender Warmstreckgrenze nicht zu umgehen, so daß ein Warmversuchsbericht stets die Versuchsdauer enthalten muß (Abb. 56 und 57).

Aus der Erkenntnis heraus, daß der Versuchsdauer eine beachtenswerte Rolle zukomme, werden nicht selten für manche hohen Wärmebeanspruchungen ausgesetzte Sonderstähle, Abnahmebedingungen vereinbart, welche die Ermittlung gewisser Dehngrenzen in Temperaturgebieten über 300° bei langer Versuchsdauer verlangen. Man spricht

dann von Dauerstandversuchen oder Kriechversuchen (creep test). Hierbei soll zunächst festgestellt werden, welche Höchstlast ein Werkstoff über einen Zeitraum von Stunden, Tagen, Monaten oder gar Jahren aushält, ohne nennenswert verformt zu werden (Abb. 57).

Nun hat freilich die Feststellung der Dauerstandfestigkeit oder Kriechgrenze nur bei Temperaturen über  $300^{\circ}$  einen Sinn, da unterhalb dieser Temperatur die Dauerstandfestigkeit zumindest auf denselben Belastungsstufen wie die Streckgrenze, wenn nicht gar auf einer höheren gefunden wird. Oberhalb  $300^{\circ}$  sinkt die Dauerstandfestigkeit gegenüber der Streckgrenze mit zunehmender Temperatur stark ab.

Werden aus den aufgetragenen Zeitdehnungskurven<sup>1</sup> die Dehngeschwindigkeiten berechnet, dann wird als Dauerstandfestigkeit diejenige Dauerlast angesehen, in der in einem festgelegten Zeitintervall bestimmte Dehngeschwindigkeiten nicht überschritten werden. Das Ergebnis dieser Versuche ist allerdings stark abhängig von der Vorbelastung und Vorwärmung. Solange jedoch die Dauerstandfestigkeit nicht genau ermittelt werden kann, werden sich die Ergebnisse kaum jemals vergleichen lassen.

Man vermutete bald, daß die Wärmeigenschaften eines Werkstoffes in irgendwelche Beziehungen zu den Eigenschaften bei Raumtemperatur zu bringen seien. Umfangreiche Versuche von F. Körber und A. Pomp bestätigen diese Vermutung. Für Flußstahl I—IV wurden entsprechende Einflüsse gefunden, die aus Abb. 58 erkennbar sind (Abb. 59, s. auch Abschnitt 8).

### 13. Der Scherversuch.

Wegen seiner festen Beziehungen zur Härte bzw. Festigkeit eines Werkstoffes hat der an sich exakte Scherversuch keine allzu starke Verbreitung gefunden; denn der allerdings etwas umständlichere Zugversuch deckt gleichzeitig mehrere wertvolle Eigenschaften auf. Im allgemeinen wird der Scherversuch in den Abnahmevorschriften dort angewandt, wo der Zugversuch mangels geeigneter Probestücke wie bei kleineren Schrauben und Nieten nicht mehr in Betracht kommt.

Als Scherfestigkeit wird der Widerstand, den ein Körper dem Verschieben zweier ebener Querschnitte entgegengesetzt, angesehen.

Für die Abnahme hat in erster Linie der zweischnittige Scherapparat Bedeutung (Abb. 60). Der Apparat wird in eine Zerreißmaschine eingebaut, damit die zur Scherung erforderliche Kraft gemessen werden kann. Die ermittelte Kraft wird auf den doppelten Querschnitt bezogen und das Ergebnis in  $\text{kg/mm}^2$  ausgedrückt. Hierbei gilt Messerdicke gleich Bolzendurchmesser. Der Ausschnitt des zylindrischen Bolzenkörpers ist gleich Bolzendurchmesser. Bei Flußstählen,

<sup>1</sup> Mailänder: Kruppsche Mh. 1931 S. 242.

die dem abnahmepflichtigen Scherversuch unterliegen, beträgt das Verhältnis der Scher- zur Zugfestigkeit gleich 0,7 bis 0,8 (Abb. 61).

Da das Formänderungsvermögen eines Werkstoffes seine Scherfestigkeit nur wenig beeinflusst, dürfte diese nur eine einseitige Beurteilung seiner Brauchbarkeit gestatten. So werden unausgeglühte und mangelhaft geglühte Werkstoffe einen höheren Scherfestigkeitswert

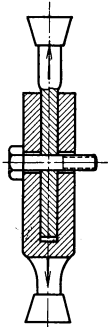


Abb. 60. Scherapparat.

erzielen als geglühte, und blank gezogene ungeglühte werden sogar beide übertreffen. Es ist auch zu erwarten, daß stark geseigerte Flußstahlproben, wie sie zumeist in der Kernzone von weichem Niet- oder Schraubenstahl gefunden werden, höhere Versuchswerte ergeben als ungesiigte Proben, wenn beide senkrecht zur Walzfaser geschert werden.

Nachdem man erkannt hatte, daß für Gußeisen die Zahlenwerte für Scher- und Zugfestigkeit eine auffallende Übereinstimmung zeigten, fing man an, bei diesem Werkstoff wegen der größeren Einfachheit des Versuches erstere für letztere zu setzen. Wenn man an die Versuche von Sipp, Rudeloff und Fremont denkt, die verschiedene Probeformen und Versuchsdurchführungen vorschlugen, so scheinen ihre Bemühungen Aussicht auf Erfolg zu haben, die Scherprobe bzw. Stanzprobe für Gußeisen als grundlegende Werk- und Abnahmeprobe einzuführen. Bislang hat das „Bureau Veritas“

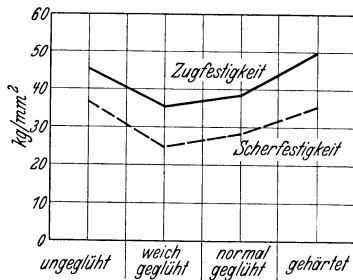


Abb. 61. Verhältnis von Zug- zur Scherfestigkeit bei verschiedenen Werkstoffzuständen.

einer Gußwandung kennenzulernen, da nur Schnittstücke von 10 mm Länge nötig sind (s. auch Abb. 69).

Die Ergebnisse des Scherversuches können verschiedenartig beeinflusst werden. Sitzt die zylindrisch gedrehte Scherprobe zu lose in der Bohrung, dann treten starke Biegungsbeanspruchungen auf, die das Resultat verwischen und günstiger gestalten. Bei weicheren Werkstoffen, für welche die Scherprüfungen in Frage kommen, kann man sehr tiefe Verdrückungen wahrnehmen, die keineswegs mit der Scherung etwas gemein haben und den Schervorgang nennenswert beeinträchtigen.

eine bemerkenswerte einschnittige Scherprobe für Qualitätseisen vorgesehen. Die Entnahme der Probe ist allerdings nicht eindeutig festgelegt, so daß heute je nach Wahl der kleinen Probe aus der äußeren oder inneren Zone eines Probekörpers ganz abweichende Scherwerte ermittelt werden. Andererseits eignet sich dieser Versuch wegen der geringen Materialaufwendung vorzüglich dazu, durch Entnahme eines Hohlbohrkernes die Festigkeitsverhältnisse aus den verschiedenen Zonen

Sind die Scherbacken nicht aus gehärtetem Stahl hergestellt, so daß die Schnittflächen im Gebrauch eine gewisse Abrundung erlitten haben, dann werden die Ergebnisse zu hoch gefunden. Sollen die Scherversuche an Genauigkeit nichts einbüßen, dann ist die Schervorrichtung mit besonderer Sorgfalt herzustellen und zu behandeln.

## 14. Die Härteprüfung.

Mit der Feile in der Hand geht der Werkstattmann durch sein Lager von allerlei Werkstoffabfällen, um durch Anfeilen einen ihm geeignet erscheinenden Werkstoff auszusuchen. Nun mag eine derartige Härte- oder Festigkeitsprobe recht roh ausgeführt erscheinen; er ermittelt aber damit gefühlsmäßig die Werkstoffsorte der einzelnen Stücke. Durch zahlreiche Versuche haben sich freilich berechtigte Zweifel an der Beurteilung eines Werkstoffes durch die Feilprobe ergeben; denn ihr Ausfall ist zu sehr von der Härte, Form und Gebrauchszeit der Feile, von der äußeren Beschaffenheit und Größe der Prüffläche, sowie von dem persönlichen Empfinden und Unterscheidungsvermögen des Prüfenden abhängig.

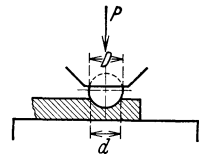


Abb. 62. Schematische Darstellung eines Kugeldruckversuches.

Die als Härte bezeichnete Eigenschaft eines Körpers wird durch die Ermittlung des Widerstandes, den ein Körper dem Eindringen eines härteren entgegensetzt, festgestellt. Gemessen wird dieser Widerstand an der Flächengröße, manchmal auch an der Tiefe des Eindrucks, den der Prüfkörper infolge der auf ihn wirkenden Kraft hinterläßt. Dabei muß vorausgesetzt werden, daß der Prüfkörper härter ist als das zu prüfende Objekt und eine genau bestimmbare Form hat. Zumeist wird als Prüfkörper eine Kugel, seltener eine Spitze oder Kegel gewählt. Die aufgewendete Kraft kann statischer oder auch dynamischer Art sein. Darnach unterscheidet man für die Mehrzahl der verschiedenen Härteprüfmethoden die beiden Hauptgruppen: das statische und das dynamische Verfahren.

Vor etwa 40 Jahren gelang es dem Schweden Brinell, das erste statische Härteprüfungsverfahren zuerst erfolgreich anzuwenden. Das Bedürfnis hatte ihn dazu geführt, für die Bestimmung der Härte bzw. Festigkeit einen einfachen und billigen Versuch zu finden. Er hatte den glücklichen Gedanken, durch Druckbeanspruchung mit Hilfe einer gehärteten Kugel geringe Teile eines Probekörpers zu deformieren und die Verformung zur Zugbeanspruchung in Beziehung zu bringen; denn sowohl beim Zugversuch als auch beim Kugeldruckhärteversuch mußte er die Kraft auf eine Fläche beziehen. Dort  $\sigma_B = \frac{P}{F}$ , hier  $H = \frac{P}{F}$ . Seine zahlreichen Versuche an Stahl ließen ihn bald ein bestimmtes Verhältnis zwischen der gewonnenen Härtezahl und der Zugfestigkeit

erkennen. Auch Legierungszusätze veränderten dieses Verhältnis nur gering. Das Verhältnis von Zugfestigkeit zur Härte wurde von ihm bei etwa 1 : 3 gefunden. Durch spätere Versuche anderer Forscher gelang es, genauere Beziehungen in DIN 1605 festzulegen. Hiernach ist:

für Kohlenstoffstahl 30 bis 100 kg/mm<sup>2</sup>  $\sigma_B = 0,36 H$  (Härtezahl),  
für Chrom-Nickelstahl 65 bis 100 kg/mm<sup>2</sup>  $\sigma_B = 0,34 H$  (Härtezahl).

Den schon angedeuteten Versuchsvorgang läßt Brinell wie folgt ablaufen. Der Prüfkörper, in der Regel eine 10 mm-Kugel, wird in die ebene und blanke Fläche eines festeingespannten Probekörpers unter einer bestimmten Belastung und während einer bestimmten Zeit eingepreßt. Die Größe des so erzeugten Eindrucks ist der tatsächlichen Härte des dem Versuch unterworfenen Werkstoffes umgekehrt proportional.

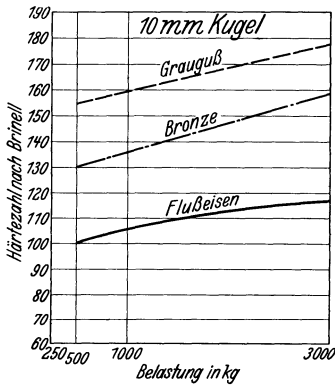


Abb. 63. Die Härtezahl in Abhängigkeit von der Belastung; Versuche an verschiedenen Werkstoffen.

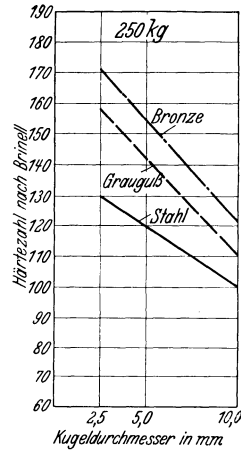


Abb. 64. Abhängigkeit der Härtezahl von dem Kugeldurchmesser, als Beispiel diene die Belastung von 250 kg.

Als Krafterzeuger dient nach Brinell eine durch Handpumpe bestätigte Ölpresse. Die für den Versuch erforderliche Zeit wurde von ihm für weiche Werkstoffe zu 30, für härtere Werkstoffe zu 15 Sekunden angegeben. Der Durchmesser des durch den Versuch entstandenen Kugeleindrucks wird möglichst auf hundertstel eines Millimeters mit Hilfe eines Mikroskops gemessen. Das Verhältnis der aufgewendeten Kraft zum Eindrucksdiameter gilt als Maßstab der Härte. So berechnet sich die Härtezahl =  $H$  in kg/mm<sup>2</sup> nach der Formel

$$H = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kg/mm}^2.$$

Nach Abb. 62 bedeutet  $P$  die auf die Kugel wirkende Kraft,  $D$  den Kugeldurchmesser,  $d$  den Eindrucksdiameter nach Entlastung.

Um umständliche Berechnungen zu vermeiden, legt man für die verschiedenen Kugeldurchmesser und Eindrucksdiameter entsprechende Tabellen mit Ausrechnung der Festigkeit an.

Man hat zur Kennzeichnung der Versuchsbedingungen eine besondere Schreibweise vereinbart, so daß bei Verwendung einer 5 mm-Kugel, bei 750 kg Belastung und 15 Sekunden Belastungsdauer die Abkürzung lautet: 5/750/15.

Nach DIN 1605 wird zur allgemeinen technisch-kaufmännischen Verständigung über Kugeldruckergebnisse die Angabe von Kugeldurchmesser und Belastung verlangt. In der Tat ist das notwendig; denn die Abhängigkeiten der Härtezahl von der Belastung bei gleichbleibendem Kugeldurchmesser und umgekehrt von dem Kugeldurchmesser bei gleichbleibender Belastung verlaufen etwa nach Abb. 63 und 64. Ungenaue Angaben oder gar Fortfall der für eine vorgeschriebene Kugeldruckprüfung vorausgesetzten Prüfbedingungen können große Schwierigkeiten nach sich ziehen.

## 15. Abhängigkeiten der Härtezahl.

Abgesehen von der physikalisch-mathematischen Bedeutungslosigkeit der Brinellschen Härtezahl ist auch der ihr offenbar zukommende empirisch-technische Wert wegen der ihr anhaftenden Unsicherheiten hart beföhdet worden. Gelingt es nicht, sie davon zu befreien, so wird das Brinellverfahren in naher Zukunft anderen ähnlichen Härteprüfmethoden den Platz räumen müssen.

Die Gesetzmäßigkeiten zwischen *C*-Stoff und Zugfestigkeiten werden auch bei der Brinellhärte gefunden. Darauf kam es in der Praxis zunächst an: gesetzmäßige Beziehungen zu anderen Eigenschaften oder Zuständen der Werkstoffe festzulegen.

Abb. 65 zeigt ein seiner Bestimmung entsprechend verformtes durchschnittenes Nietmaterial. Eine über die ganze Fläche verteilte Härteuntersuchung ergab stark abweichende Brinellhärten. In der mittleren verseigerten Kernzone und in den stark verformten Kopfteilen liegen die Härten höher als in den reineren, unverformten Randzonen. Hiervon ausgehend kann gesagt werden, daß bei der Probeentnahme nicht willkürlich verfahren werden kann, sondern systematische Verteilung vorgesehen werden muß. Desgleichen wirkt auch die Verformung härtesteigernd (Abb. 66). Die Härte wächst mit dem Grad der durch die Verformung erzeugten Verfestigung.

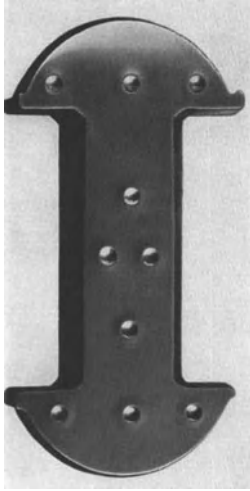
Wird die Struktur eines Werkstoffes infolge Warm- oder Kaltverarbeitung einer Richtung folgend zeilenförmig verändert, so beobachtet man häufig ellipsenförmiges Aussehen von Kugeleindrücken. Ebenso vermögen auch Schlacken, Poren oder Risse dem Vordringen einer belasteten Kugel eine andere Richtung und damit der Kugelkalotte ein mehr oder weniger stark ausgebildetes Ovalrund zu geben. Solche unrunderen Kugeleindrücke erfordern zur Feststellung eines mittleren Durchmessers mehrere über Kreuz gelegte Ausmessungen.

Kugeleindrücke in manchen weichen, ungeglühten, auch rekristallisierten Stählen und grobkristallinen Metallen pflegen mit starker Abrundung in die übrige Oberfläche des Prüfstückes überzugehen

(Abb. 67). Dadurch wird die zur genauen Ablesung notwendige scharfe Abgrenzung der Eindruckfläche verwischt. So können Ablesungsfehler von 10 bis 20% entstehen.

Umgekehrt beobachtet man gelegentlich bei Kugeldruckversuchen an kaltbearbeiteten Stählen wulstartige Erhöhungen am Eindruckrande. Infolge der schon stattgefundenen Verfestigung solcher Werkstoffe ist eine weitgehende Verschiebung der dem Druck ausgesetzten Teile nicht möglich, sondern diese werden nur dicht am Kugelrande emporgehoben

(Abb. 68). Diese Erscheinung findet eine Parallele in der geringen Dehnung, aber örtlich starken Kontraktion sog. blank (kalt) ge-



	Härte-	
	zahlen.	
114	119	114
	112	
	105	105
	114	
112	119	114

Abb. 65. Verformte Nietergebnisse der Probenentnahme aus den verschiedenen Zonen.

zogener Profilstangen. Wenn auch hier der Eindruckrand scharf ausgeprägt ist, so wird die abgelesene Härte doch zu niedrig ausfallen. Ob nun der Kalottenrand ausgerundet oder erhöht wird, so sollten doch

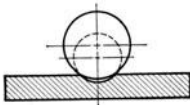


Abb. 66.

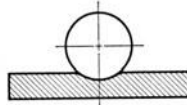


Abb. 67.

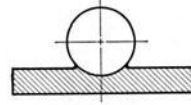


Abb. 68.

Abb. 66. Darstellung der Eindrücke von Kugeln verschiedener Größe bei gleicher Belastung. Die kleinere Kugel verformt und härtet daher den Werkstoff mehr als die größere (s. auch Abb. 64).

Abb. 67. Darstellung der Ausrundung des Werkstoffes.

Abb. 68. Darstellung der Aufwölbung des Werkstoffes.

derartige zweifelhafte Versuchsergebnisse behufs Korrektur durch wiederholte Versuche ergänzt werden.

Desgleichen sind die Kugeldruckversuchsergebnisse, wenn eine bestimmte Probeabmessung, insbesondere die Probepdicke unterschritten wird, von dieser abhängig. Ist das Versuchsstück im Verhältnis zu der Belastung der Kugel zu dünn, so daß auf der dem Kugeleindruck gegenüberliegenden Seite eine sichtbare Ausbeulung, manchmal auch nur blanke Materialpressung festzustellen ist, dann wird eine einwandfreie Härtemessung unmöglich sein. Die Härte der Unterlage des zu prüfenden



Versuchsstückes wird die Härtezahl maßgebend beeinflussen. Eine harte Unterlage (gehärteter Stahl) wird die Ausbeulung abwehren und dementsprechend die Härtezahl steigern; eine weiche Unterlage (Kupfer) wird die Ausbeulung ermöglichen und dadurch die Härtezahl herabsetzen. Eine zutreffende Härtezahl könnte man bei sehr dünnen Probestücken nur dann erhalten, wenn Probestück und Unterlage von gleicher Härte wären. Es liegt auf der Hand, als Unterlage den Werkstoff des zu prüfenden Stückes zu wählen, etwa bei dünnen Blechen mehrere Stücke übereinander zu legen. Um nun die Bestimmung der Brinellhärte durch solche an sich richtige Hilfsmaßnahmen nicht von neuem zu gefährden, dürfen nur gerade und glatte Unterlagstücke, bei denen jede Federung ausgeschlossen erscheint, Verwendung finden.

Um von der Probedicke unabhängiger zu sein, gelangen zur Ermittlung der Härtezahl kleinere Kugeln und geringere Belastungen zur Anwendung. Durch langjährige Versuche ist festgestellt worden, daß die Brinellsche Härtezahl von der Kugelgröße dann unabhängig ist, wenn  $P$  proportional  $D^2$  gewählt wird. Nach DIN 1605 soll in der Regel Stahl bei  $30 D^2$  geprüft werden. Man erhält folgende Kugeldurchmesser und Belastungen in Abhängigkeit von der Probedicke:

Dicke der Probe mm	Kugel- durchmesser $D$ mm	Belastung $P$ kg für Stahl			
		$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$	$2,5 D^2$
über 6	10	3000	1000	500	250
von 6—3	5	750	250	125	62,5
unter 3	2,5	187,5	62,5	31,2	15,6

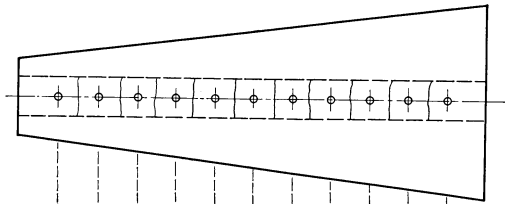
Es ist selbstverständlich, daß geringere Kugeldurchmesser mit entsprechenden Belastungen für größere Probedicke zulässig sind.

Nicht zuletzt haftet der Ermittlung der Härtezahl eine gewisse Unsicherheit durch ihre Abhängigkeit von der eigenen Kugelhärte an. Wenn freilich das Probestück eine gewisse Härte nicht überschreitet, ist der Einfluß ohne Belang, erreicht es aber eine Härtezahl von etwa 400, dann erlahmt der Widerstand der Kugel, und ihre Rundung macht durch Abplattung einer mehr oder weniger starken Verformung Platz. Ist die Kugelhärte wesentlich geringer als die Härte des Probestückes, dann wird, wie Mailänder richtig sagt, nicht mehr die Härte der letzteren, sondern vielmehr die der Kugel gemessen. Auf jeden Fall wird bei der geringsten Abplattung der Kugel die Härtezahl des Probestückes zu klein gefunden. Ist man genötigt, Werkstoffe von über 450 Härtegrad zu prüfen, dann empfiehlt sich der Gebrauch von kalt gehärteten Kugeln, die durch Laufen in eigens dazu konstruierten Kugellagern unter hoher Belastung und Geschwindigkeit gehärtet werden. Solche Kugeln

erreichen eine Härte von 600 bis 700 Härtegraden. Mailänder<sup>1</sup> und Hultgren haben die Grenzen festgelegt, welche die Härte eines Probestückes gegenüber der Brinellhärte nicht überschreiten darf, wenn nicht bedenkliche Fehler in die Prüfergebnisse hineingetragen werden sollen.

Die Anwendung des statischen Kugeldruckverfahrens zur Ermittlung der Einsatzhärte bzw. Einsatztiefe ist ohne Zweifel unrichtig. Wenn es überhaupt gelingt, eine Kugel in die gehärtete Oberfläche einzudrücken, so ist damit nicht nur diese, sondern auch die darunter liegende weichere eutektoide Zone geprüft. Irgendein Maß zur einwandfreien Beurteilung der Einsatzhärtung kann durch die Brinellprobe nicht gefunden werden.

Zumeist wird die Kugeldruckprobe als Ergänzungsprüfung ihre Bedeutung haben. Zur Gruppe derjenigen Werkstoffe, die in der Hauptsache nur auf Festigkeit bzw. Härte geprüft werden, gehört das Gußeisen. Die Deutsche Reichsbahngesellschaft, Bureau Veritas u. a.



Perlitischer Edelguß	Härtezahl H	273	273	254	237	237	218	218	211	200	200	192
	Scherfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	30,0	29,3	28,1	27,5	27,5	26,9	26,9	26,3	6,3	25,7	
Zylinder-Guß	Härtezahl H	192	192	185	185	178	178	174	174	165	165	165
	Scherfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	29,3	27,5	27,5	26,9	26,2	26,2	26,2	25,6	25,6	25,0	
Masch.-Guß, hart	Härtezahl H	185	185	178	171	171	167	167	165	165	165	161
	Scherfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	27,2	26,2	26,2	26,2	26,2	25,9	25,9	24,6	24,0	24,0	
Masch.-Guß, weich	Härtezahl H	171	171	175	165	165	162	162	159	159	159	159
	Scherfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	23,1	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	21,2	21,2	20,6	20,6	

Abb. 69. Veränderung der Härte bzw. Scherfestigkeit bei verschiedenen Gußsorten mit der Wand- bzw. Probestabdicke. Proben an sog. Keilen entnommen.

benutzen ausgiebig für solche der Abnutzung ausgesetzten Werkstücke die Brinellhärteprüfung. Bremsklötze, Schieberringe, Gleitbahnen, Zylinder usw. sollen Eigenschaften aufweisen, deren Ermittlung durch eine Kugeldruckprobe außerordentlich erleichtert wird. Es wäre allerdings mit Rücksicht auf Abnahmeprüfungen zu untersuchen, mit welcher Meßgenauigkeit bei Prüfungen des Gußeisens zu rechnen ist. Dies ist um so mehr notwendig, als bei vielen solcher Abnahmevorschriften die Differenz zwischen Höchst- und Mindesthärte sehr gering und häufig wiederkehrende Grenzwerte nicht zu vermeiden sind.

Aus Abb. 69, auf vier verschiedene Sorten Grauguß sich beziehend, geht hervor, daß zwar die Härte von der chemischen Zusammensetzung

<sup>1</sup> Mailänder: Stahl u. Eisen 45 S. 1770.

abhängig ist, daß aber die für die praktische Werkstoffprüfung wichtige Differenzierung der Härte innerhalb eines Stückes die Probedicke verantwortlich ist. Aus dieser Erkenntnis heraus wird die Probelage oder die Härteeigenschaft genauer gekennzeichnet. So schreibt z. B. die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft für Bremsklötze den Sitz der einzelnen Kugeldrucke genau vor. Wenn die vorgeschriebenen Härten  $195 H \pm 25$  betragen, dann werden sich zwischen den beiden äußeren und dem inneren Eindruck so große Härteunterschiede zeigen, daß die Kugeldruckprobe aus der Mitte für sich selten bedingungsgemäß gefunden wird. Die im Innern eines Werkstückes vorhandene geringere Härte ist hier, wie oben bewiesen, einerseits auf die von außen nach innen stattgefundene langsamere Abkühlung, aber andererseits auf die im Innern stärker auftretende Porosität zurückzuführen. Die Art der Graphitausscheidung und andere meist unkontrollierbare Einflüsse sind die Ursache der unrunder, manchmal auch zackig ausgebrochenen Kalottenbegrenzung (Abb. 70).

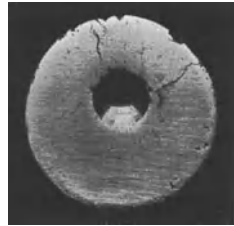


Abb. 70. Kugeldruck auf grobkristallinischem Gußstab. Rand zackig, bis zum Außenrand aufgebrochen.

Bei Schalenhartguß wird beobachtet, daß feine in diesem Werkstoff auftretende Risse für die eindringende Kugel richtungsändernd wirken und hierdurch in ursächlichem Zusammenhang mit der Abweichung von der kreisrunden Eindruckfläche stehen. Nun bereiten in der Tat unrunder, zackige Kalottenflächen der genauen Ausmessung kaum überwindliche Schwierigkeiten. Wird, wie DIN vorschreibt, an mehreren Kugeldrücken und dann noch kreuzweise jeder Eindruck ausgemessen, so besteht zwar die größte Wahrscheinlichkeit zur Ermittlung der dem Werkstoff eigenen Härte, aber bei solchen, wenn auch unvermeidlichen Prüfbedingungen sind subjektiver Auffassung und gar Willkürlichkeiten die Türen geöffnet.

Man bedenke noch, daß eine mögliche Addition der besprochenen Einflüsse auf die Versuchsergebnisse diese geradezu unbegreiflich machen können. Wenn hier nicht die eigene Unsicherheit den Abnehmer zu wiederholter Korrektur veranlaßt, so wären häufige Verwerfungen von Graugußwerkstücken unvermeidlich. Die Brinellsche Kugeldruckprobe als Abnahmeprüfung setzt eine außerordentliche Genauigkeit der Versuchsdurchführung voraus, sollen nicht Abnahmen zur bloßen Form oder empfindlichen Verlusten führen. Pflicht des Lieferanten ist es, einwandfreie Prüf- und Meßgeräte sowie sachlich eingearbeitete Hilfskräfte zur Verfügung zu stellen.

In der Werkstoffabnahme wird die Härteprüfung als Brinellsche Kugeldruckprobe nur unter gewissen Einschränkungen anerkannt. Trotzdem ihre gesetzmäßige Beziehung zur Zugfestigkeit nachgewiesen ist, wird die Härteprüfung in einigen Werkstoffvorschriften nicht

erwähnt. Der Zugversuch wird niemals durch die Härteprüfung ersetzt, denn er vermittelt eine Anzahl den Werkstoff maßgebend kennzeichnender Eigenschaften.

Die Härteprüfung kann überall dort mit Erfolg Anwendung finden, wo die Festigkeit, besonders die Verschleißfestigkeit, festzustellen ist. Auch als Ergänzungsprüfung und in Ausnahmefällen für Ersatzprüfungen sollte sie mehr als bisher herangezogen werden.

Es ist Sache der Prüfstelle, aus dieser feststehenden Tatsache die Folgerungen zu ziehen, will sie nicht zum eigenen Nachteil Kugeldruckversuche vornehmen.

## **16. Ersatz- und Hilfsgeräte zur Ermittlung der Brinellschen Kugeldruckhärte.**

Mögen manche Verfahren auch keinen vollkommenen Ersatz der anerkannten Brinellhärteprüfung darstellen, so sind doch eine ganze Anzahl angewandter Härteprüfapparate recht beachtlich. Sie dürften geeignet erscheinen, nicht nur jene zu ersetzen oder zu ergänzen, sondern sich als Mittel für selbständige Prüfmethode Geltung zu verschaffen.

Zu den bekanntesten gehören einige auf dem Prinzip der Differentialbestimmung aufgebauten dynamischen Härteprüfer der Poldihütte, der Normihammer und der Brinellmeter, die in ihrer Arbeitsweise große Ähnlichkeit haben.

Die Apparate bestehen aus einer Hülse bzw. einer Führung mit Spiralfeder. In den unteren Teil der Führung kann ein Vierkantstab, der Vergleichskörper, eingeschoben werden; darunter in einer Gabel ist eine Kugel gefaßt. Durch einen Schlag mit einem Hammer auf einen in die Hülse oberhalb der Feder eingesetzten Kegel wird die an dem Vergleichskörper und dem Prüfstück anliegende Kugel eingedrückt. Mit Hilfe eines Mikroskops werden die beiderseitigen Kugeleindrücke ausgemessen und nach den Apparaten beigegebenen Vergleichstabellen wird die Härteeinheit nach Brinell ermittelt.

Der Vorteil dieser außerordentlich kleinen Apparate besteht in der Handlichkeit und leichten Bedienung. In der Hand eines geübten Prüfers geben sie brauchbare Aufschlüsse über die Härte von Massenerzeugnissen oder solcher Werkstücke, die wegen ihrer Form eine Probe nach Brinell nicht zulassen. Zu starkes Federn der Unterlagen und nicht homogene Vergleichsstäbe beeinträchtigen das Versuchsergebnis. Hammerschläge, die Eindrücke über 3 mm ergeben, sind zu vermeiden.

Ein ebenfalls bei Abnahmen angewendetes dynamisches Kugeldruckverfahren ist die Ermittlung der Shorhärte. Wenn das Brinellhärteverfahren wegen allzu großer Härte des Probestückes versagt, kann das Shorsche Skleroskop Anwendung finden. In der Tat ist es mit seiner Hilfe möglich, verhältnismäßig geringe Härteunterschiede bei hohen

Härtegraden festzustellen. So werden insbesondere eingesetzte Werkstücke in dieser Weise geprüft. Abb. 71 zeigt den handlichen Apparat, der in einer Glasröhre aus einer bestimmten Höhe ein kleines Hämmerchen fallen läßt. Dieses Hämmerchen, das mit einer Diamantspitze oder einer harten Metallspitze versehen ist, springt je nach der Härte des zu prüfenden Stückes in die Höhe zurück. Die Rücksprunghöhe wird an einer Skala abgelesen und dient als Maßstab für die Härtezahl. Da es sich hier nicht um Verdrängung, sondern um Elastizitätswirkungen des Stoffes handelt, so bestehen zwar zunächst keine Beziehungen zwischen Brinellhärte und Shorhärte, aber rein erfahrungsgemäß lassen sich solche feststellen (Abb. 73). Die Shorhärte ist als wichtige Ergänzung der Brinellhärte zu betrachten und hat in der gesamten in- und ausländischen Metallindustrie schnellen Eingang gefunden. Es muß aber die Neigung zu unrichtiger Anzeige beachtet werden, wenn eine Verstaubung der Glasröhre oder rauhe und verunreinigte Probestücke die Versuchsergebnisse beeinträchtigen.

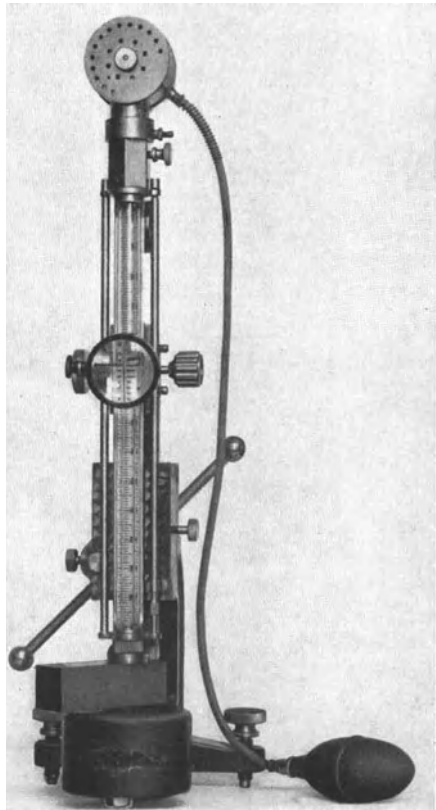


Abb. 71. Das Skleroskop (Rückprallhärteprüfer).

Die Erkenntnis, daß es nicht gelingen könne, alle Härteunterschiede mit Hilfe von Stahlkugeln für die praktischen Bedürfnisse festzustellen, führte zwangsläufig zur Benutzung härterer Stoffe und anderer Formen des eindringenden Körpers. In einer bestimmten Form der Diamantspitze war dieser Körper gefunden. Grundsätzlich ist diese Diamantprüfspitze bei dem Skleroskop und dem für statische Versuche bestimmten Rockwellprüfer gleich (Abb. 72). Wie bei der Brinellschen Kugeldruckpresse wird beim Rockwellprüfer statt der Stahlkugel die Diamantspitze unter allmählich gesteigerter Belastung in die Oberfläche eines Probestückes eingedrückt. Die Härtezahl wird nicht aus dem Eindruckmesser, sondern aus der Tiefenzunahme des Eindruckes zwischen einer geringen Vorlast und der Prüflast gemessen, es ist also ein Ausmessen der Eindrucktiefe.

Die direkte Ablesung ohne Gebrauch des Mikroskops bedeutet eine gewisse Zeitersparnis. Die Rockwellprüfung fand zwar bisher nur selten Verwendung zu Abnahmeversuchen, merzt aber eine Anzahl Fehlerquellen und Nachteile der Brinellhärteprüfung aus und liefert vor allem für gehärtete Werkstoffe zuverlässigere Werte.

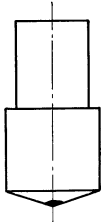


Abb. 72. Form der Diamantspitze von Härteprüfern.

Durch die verhältnismäßig geringe Belastung können auch dünnere Probestücke einwandfrei geprüft werden. Die gut geklärten Beziehungen zwischen der Rockwellhärte und der Brinellhärte lassen eine genauere Umwertung zwischen beiden zu (Abb. 73). Hierher gehört auch das kombinierte Prüfverfahren nach Rockwell und Brinell und viele andere, die offenbar den Vorteil haben, auf demselben Apparat beide Prüfarten ausführen zu lassen. Es darf nun freilich nicht übersehen werden, daß

die Tiefenwirkung einer Diamantspitze auch Fehlresultate dann geben kann, wenn die Prüfspitze bei einem grobkristallinen Gefüge ausschließlich auf ein Ferrit- oder Perlitkorn oder gar auf eine Schlacke

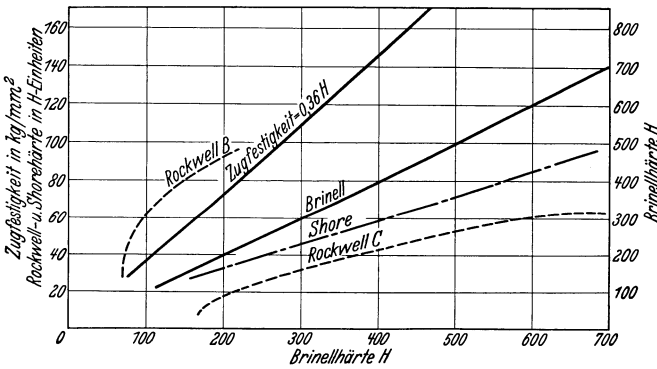


Abb. 73. Vergleich der Ergebnisse anerkannter Härteprüfmethoden.

trifft. Die Ergebnisse würden dann ganz unzuverlässig werden. Falsch wäre auch die Anwendung der Tiefenmeßverfahren auf unbearbeitete Oberflächen, da die Tiefe der Messung nur bis 0,5 mm reicht, also in einer Zone der Oberfläche, die durch Glühspan, Entkohlung, Oberflächenhärtung keineswegs die Eigenschaften des Werkstoffes aufweist.

Wenn auch die praktische Anwendung gering ist, so sei doch das Ritzverfahren nach Martens erwähnt. Die Ritzhärte wird dadurch ermittelt, daß ein mit einem Diamanten erzeugter Ritz bestimmter Breite auf die dazu erforderliche Belastung bezogen wird. Hierbei werden genaue mikroskopische Unterschiede zwischen den einzelnen Kristallen gemessen. Es sei jedoch darauf aufmerksam gemacht, daß es sich hier nicht, wie bei allen anderen Härteprüfverfahren um Stoffverdrängung, sondern um Abnützung bzw. Spanabhebung handelt.

## 17. Die Kerbzähigkeit.

### Der dynamische Kerbschlagbiegeversuch.

Die Kerbzähigkeit ist die Eigenschaft eines Werkstoffes, die das Verhalten bei seiner Verformung durch beschleunigte stoßweise Beanspruchung klarlegt. Die Prüfung auf Kerbzähigkeit gibt uns die spezifische Schlagarbeit an, das ist diejenige Anzahl von mkg, die auf den Bruchquerschnitt in  $\text{cm}^2$  bezogen, zum Bruch der Probe führt.

Der Versuch gelangt in der Weise zur Durchführung, daß ein gekerbter Probestab bestimmter Abmessung in einem entsprechenden Pendelschlagwerk geschlagen wird. Die hierzu notwendige Arbeit wird gemessen. Die Arbeitsweise der in Deutschland gebräuchlichen Pendelschlagwerke besteht im Ausschwingen eines aus einer bestimmten Höhe ausgelösten und um eine horizontale Achse schwingenden Hammers, der mit seiner Schneide gegen ein Probestück schlägt. Durch das Auftreffen des Pendelhammers auf das Versuchsstück wird ein Teil der Energie des Hammers verzehrt. Je nach der Zähigkeit des Werkstoffes wird der Hammer beim Zurückschwingen die ursprüngliche Höhe in geringerem oder größerem Abstand erreichen. Die Differenz der ursprünglichen Fallhöhe und der nach dem Versuch gemessenen Steighöhe wird als tatsächliche Arbeit angesprochen. Immer werden den Pendelschlagwerken Eich tafeln mitgegeben, die die Berechnung der Kerbschlagarbeit erleichtern. Durch Division der verbrauchten Arbeit mit dem Bruchquerschnitt erhält man die Schlagarbeit oder Kerbzähigkeit in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Die Formel für die Berechnung ist, wenn  $L$  die Pendellänge,  $G$  das Gewicht des Hammers in kg, und  $\alpha$  und  $\beta$  die beiden gemessenen Winkel sind:  $H = L - L \cos \alpha$ ,  $h = L - L \cos \beta$ , dann ist die zum Zerschlagen verbrauchte Arbeit (Abb. 74)

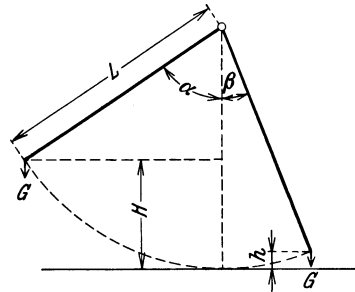


Abb. 74.  
Prinzip des Pendelschlagwerkes.

$HG - hG = G(L - L \cos \alpha) - G(L - L \cos \beta) = G(\cos \beta - \cos \alpha)L$ .

Zumeist pflegt man die Werte  $G$  und  $L$  auf einer beigegebenen Tabelle vorzufinden.

Wenn auch die Kerbschlagbiegeprobe zur Ermittlung einer Werkstoffeigenschaft nicht selten wegen ihrer Form und Bedeutung angefeindet wird, und mit Recht manche Bedenken gegen sie erhoben werden, so ist sie dennoch ein heute unentbehrliches Prüfverfahren geworden. Es dient in erster Linie zur Aufdeckung des Glühzustandes, der mechanischen Behandlung und Verunreinigungen aller Art, also sehr wichtiger Zusammenhänge zwischen Kerbempfindlichkeit bei dynamischer Beanspruchung und Werkstoff. Eine allgemeine Einführung bei der

Werkstoffabnahme ist der Kerbschlagprobe allerdings versagt geblieben. Die Probestellen, die Empfindlichkeit gegen geringe Änderungen in den Versuchsbedingungen und nicht zuletzt eine gewisse Unzuverlässigkeit der Ergebnisse haben den Kerbschlagbiegeversuch problematisch gemacht. In der Tat fehlt auch jede Beziehung zum Ähnlichkeitsgesetz, daher entbehren auch proportionale Verhältnisse, wie sie beim Zugversuch vorherrschen, hier jeder Grundlage.

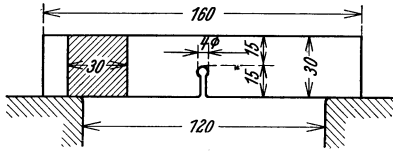


Abb. 75. Große Charpyprobe, zugleich internationale und deutsche Normalprobe 30 × 30 × 160 mm.

Wird aber die anerkanntswerte planmäßige Forschungsarbeit der letzten Jahre fortgesetzt, so daß sichere Konstanten gewonnen werden, dann wird die Kerbschlagbiegeprobe bei der Werkstoffabnahme zweifellos unentbehrlich. Dem Konstrukteur allerdings werden ihre Ergebnisse auch dann noch keinen Anhalt geben, den er rechnungsmäßig verwenden kann, ganz abgesehen davon, daß die Spannungsverhältnisse am Kerbgrunde einer Kerbschlagbiegeprobe kaum ähnlich an Werk-

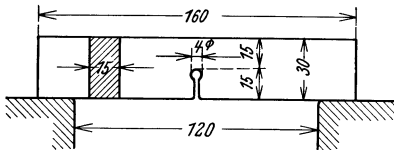


Abb. 76. Probe der Vereinigung der Großkesselbesitzer 15 × 30 × 160 mm, auch des neuen Dampfkesselgesetzes.

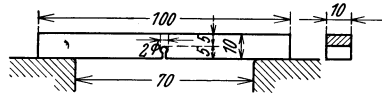


Abb. 76 a. Kleine Probe des internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik 10 × 10 × 100 mm mit Rundkerb. Diese Probeform wurde ursprünglich und häufig heute noch mit 1 × 3 mm Rundkerb versehen.

stücken gefunden werden können. Obleich deren Ergebnisse für sich alleinstehend ein abschließendes Urteil über den Wert eines Werkstoffes nicht zulassen, so dürften sie doch den Zugversuch in wertvoller Weise ergänzen. Aus diesem Grunde haben auch bedeutende Forscher wie Baumann, Lasslo und Schwinning die Kerbschlagbiegeprobe für die Abnahmeprüfung und zur Aufnahme in Abnahmevorschriften empfohlen.

Die bedingungsgemäße Feststellung der spezifischen Schlagarbeit an einem gekerbten Probe-

stabe ist nun freilich nicht neu, sondern hat hie und da in den Werkstoffvorschriften als Sonderbedingung bereits Aufnahme gefunden. So läßt die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft seit langem an hochbeanspruchten Werkstücken aus legiertem Stahl, um die Vergütung nachzuweisen, die Kerbzähigkeit ermitteln. Die Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel empfehlen zur Nachprüfung der Glühbehandlung des Stahlgusses die Anwendung des Kerbschlagbiegeversuches. Darüber hinausgehend wird dieser Versuch von der Vereinigung der Großkesselbesitzer in ihren Vorschriften als Prüfungsart allgemein vorgeschrieben, insbesondere in der Prüfung der Alterungsbeständigkeit.



Die I. G. Farbenindustrie verwendet prinzipiell die Kerbschlagbiegeprobe bei allen Abnahmen, da sie glaubt, daß sich gerade durch sie besondere Verhältnisse und Zustände der Werkstoffe ermitteln lassen. Ebenso wie das „Bureau Veritas“, das durch eine abweichende sog. Schlagprobe die Zähigkeiten des halbharten Stahles prüft, haben auch andere ausländische Klassifikations-Abnahmegesellschaften und Behörden dynamische Kerbversuche in ihre Abnahmebedingungen aufgenommen. Bei allen dynamischen Zähigkeitsprüfungen ist jedoch die klare Absicht zu erkennen, einen fehlerhaften Kristallaufbau, der sich im völligen Versagen der Kerbschlagbiegeprobe äußert, zu entdecken, um also solchen Werkstoff zurückweisen zu können, der eine ausgeprägte Kerbsprödigkeit und Stoßempfindlichkeit aufweist. Will man aber die Kerbschlagbiegeprobe trotz ihrer äußerst mangelhaften Gesetzmäßigkeiten zu einem allgemein angewendeten Abnahmeversuch machen, so wird man in erster Linie die durch die Unzahl von Probeformen entstandene Verwirrung beseitigen müssen.

Über die Frage der Probeform des Kerbschlagbiegeversuches wurde schon auf dem Kongreß des Internationalen Verbandes der Materialprüfungen der Technik 1909 in Kopenhagen lebhaft diskutiert; eine einheitliche Probeform jedoch hat man bis heute noch nicht vorschreiben können. Damals hatte man vereinbart, die sog. Charpyprobe als internationale Probe festzulegen. Diese auch als deutsche Normalprobe (Abb. 75) bezeichnete Form hat in Deutschland selbst eine recht beachtliche Verbreitung gefunden, international sich aber nicht durchzusetzen vermocht. Sie wird seit langem als Abnahmeprobe bei der Reichsbahn und anderen Verkehrsgesellschaften, sowie bei der I. G. Farbenindustrie angewendet.

Nicht immer lassen sich aus dem vorhandenen Versuchsmaterial Kerbschlagbiegeproben mit derartigen Abmessungen herausarbeiten, deshalb suchte man zweckentsprechendere Formen zu finden. So haben die „Richtlinien für die Anforderungen an den Werkstoff und Bau von Hochleistungsdampfkesseln“ zum Zwecke von Werkstoffabnahmen eine um die Hälfte schmalere Normalprobe (Abb. 76) geschaffen, so daß die Probebreite in vielen Fällen gleichzeitig die Blechdicke (12 bis 15 mm) ausmacht. Man versucht hier möglichst die Walzhaut mit darunter liegenden besseren Werkstoffschichten in die Prüfung einzubeziehen und die Verhältnisse des ganzen Blechquerschnittes kennenzulernen.

Geht jedoch die Blechdicke über die vorgeschriebene Probebreite erheblich hinaus, so pflegt man das Probematerial einseitig auf das Maß abzuhobeln. Der Unterschied der breiten und der abgeänderten schmalen Normalprobe liegt nicht nur in ihren Abmessungen, sondern auch in ihrem spezifischen Widerstand und ihrer Fließraumbildung, so daß, wie später ausgeführt werden soll, in der Schlararbeit die schmale stets die breite Normalprobe nennenswert übertrifft.

Die breite Normalprobe wird auch — statt des gebohrten und aufgesägten Rundkerbes bei Sonderwerkstoffen mit hohem Verformungsvermögen — mit scharfer Kerbe (Abb. 77) ausgestattet. Rein theoretisch betrachtet, müßte man annehmen, daß solche Proben eine niedrigere Schlagarbeit als Rundkerbproben aufweisen. Versuche haben aber gelehrt,

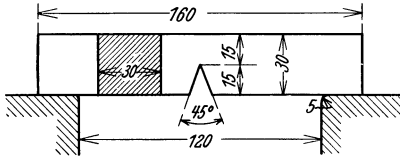


Abb. 77. Kerbschlagprobe  $30 \times 30 \times 160$  mm mit Scharfkerb.

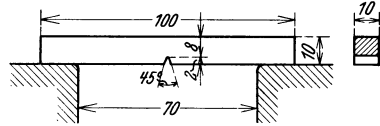


Abb. 78. Kleine Probe des Verbandes für die Materialprüfungen der Technik  $10 \times 10 \times 100$  mm mit Scharfkerb.

daß diese Verhältnisse von der Wärmebehandlung des Werkstoffes abhängig sind.

Um auch Probematerial geringerer Abmessungen noch zu Kerbschlagbiegeproben verarbeiten zu können, hatte der Internationale Verband

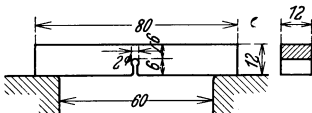


Abb. 79. S.-Schuckert-Probe  $12 \times 12 \times 80$  mm.

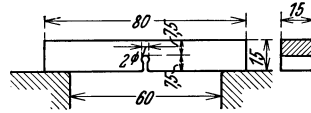


Abb. 80. Kruppsche Kerbschlagprobe  $15 \times 15 \times 80$  mm mit Rundkerb.

für Materialprüfungen der Technik eine kleine Form vorgeschlagen (Abb. 78). Ihre Einführung ist vielfach auf Widerstand gestoßen, trotzdem sie später noch günstig abgeändert wurde, da sie gegen-

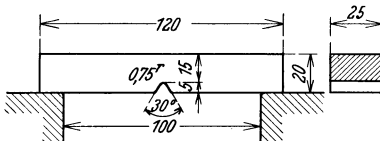


Abb. 81. Große A.E.G.-Probe  $20 \times 25 \times 120$  mm.

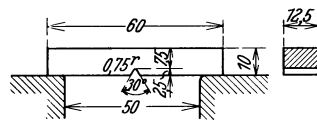


Abb. 81 a. Mittlere A.E.G.-Probe  $10 \times 12,5 \times 60$  mm.

über der großen Normalprobe, insbesondere der abgeänderten, geringere Werte ergibt. Sie wird mit Rund- und Scharfkerb ausgeführt.

Der Verband der Großkesselbesitzer und I. G. Farben haben auch diese Probeform in ihre Bedingungen aufgenommen, indem sie die ungünstigere Abmessung von  $10 \times 10$  und die ungünstigere Kerbe von 1,3 mm wählten, ohne jedoch die Bedingungen zu mildern.

Das allgemeine Bedürfnis hat bald dazu beigetragen, daß eine große Anzahl von kleinen Probeformen auftauchten. Beachtung verdienen darunter die kleine Form der S.-S.-Werke (Abb. 79), die alte Kruppsche und die neue nach Vorschlag Moser (Abb. 80). Sie sind aus der Laboratoriumspraxis dieser großen Industriekonzerne entstanden und

werden in der Abnahme vielfach deshalb verwendet, weil sie auch gestatten, aus Hohlbohrkernen und kleinen Abschnitten des Werkstoffes noch entsprechende Proben herzustellen. Die alte Kruppsche Probe ist als amtliche Probe bei I. G. Farben mit der wichtigen Feststellung zugelassen, daß ihre Ergebnisse mit  $\frac{2}{3}$  der großen Charpyprobe ( $30 \times 30 \times 160$ ) zu bewerten sei. Diese Probeformen unterscheiden sich nur im Bruchquerschnitt. Zu beachten ist, daß sie eine um 10 mm kürzere Auflagerung haben als die kleine internationale Probeform (Abb. 79).

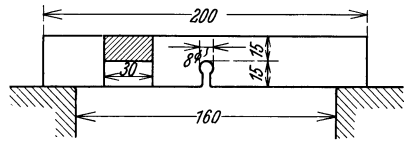


Abb. 82. Kerbschlagprobe des Bureau Veritas  $30 \times 30 \times 200$  mm.

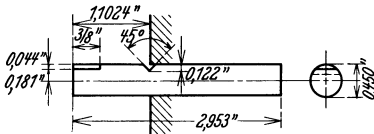


Abb. 83. Runde Izodprobe (Amerika).

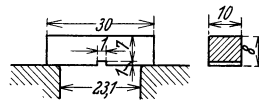


Abb. 84. Frémontprobe  $8 \times 10 \times 30$  mm.

Die breite und schmale Normalprobe werden auf den Pendelschlagwerken von 75 mkg und darüber geprüft. Für die kleinen Probeformen ist das 10 mkg-Pendelschlagwerk vorgesehen.

Eine besondere Probeform und Versuchsanordnung wird von den Vorschriften der AEG. gefordert (Abb. 81 und 81a). Die nach dem Mehrschlagsystem zu prüfenden Proben haben sehr geringe Abmessungen und können daher aus Naben und Bohrlochabschnitten herausgearbeitet werden. Zu den Versuchen wird ein besonderes Fallwerk benötigt, das mit verschiedenen Bärgeichten

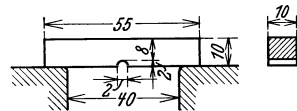


Abb. 85. Mesnagerprobe  $10 \times 10 \times 55$  mm.

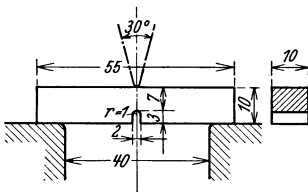


Abb. 86. Vorgeschlagene deutsche Normenprobe.

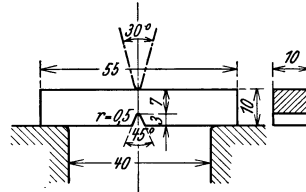


Abb. 86 a. Zusatzprobe.

arbeiten kann. Die Probe wird bei dem Versuch mit ihren scharfen Kerb nach unten gerichtet und mit einem dem Gewicht nach vorgeschriebenen Bär aus bestimmter Fallhöhe geschlagen. Bei einer Anzahl von Schlägen darf bei vorgeschriebenem Durchbiegungswinkel die Probe am Kerb keinen Anriß erkennen lassen.

Auf dem Mehrschlagprobensystem beruht auch die den Abnahmen dienende Probe des „Bureau-Veritas“. Sie wird unter ähnlichen Verhältnissen nur zweimal geschlagen (Abb. 82).

Bemerkenswert ist noch die in Nordamerika und England sehr verbreitete Izodprobe mit rundem Querschnitt und die in Frankreich angewendete Fremontprobe. Beide bedürfen einer besonderen Apparatur und dürften daher kaum über die Grenzen ihrer Heimat hinaus angewendet werden (Abb. 83 und 84).

Eine in Westeuropa bevorzugte Kerbschlagbiegeprobe kann man in der Mesnagerprobe sehen. Sie ist nach Fischer in ihren Ergebnissen der großen Charpyprobe am ähnlichsten (Abb. 85). Diese Probeform wurde auch in der Internationalen Konferenz in Zürich 1931 als Normalprobe mit einigen Abänderungen bevorzugt (Abb. 86 und 86a). Sie hat die Vorteile einer kleinen Kerbschlagprobe (geringer Materialverbrauch und geringere Bearbeitungskosten) und differenziert auffallend gut zwischen zäh und spröde bei den gewöhnlichen und am häufigsten vorkommenden Stählen. Für ganz zähe Stahlsorten wird allerdings eine Zusatzprobe mit Spitzkerb benötigt.

## 18. Bruchaussehen der Kerbschlagbiegeproben als Ergänzungsprüfung.

In der Nähe der Höchstlast hat der Werkstoff das Bestreben, sich zu verformen. Verschiedene Behinderungen jedoch wie die Kerbe oder der Druck auf der Schlagseite lassen eine völlige Verformung wie bei der Zugprobe nicht zu. Trotzdem ist die Art der Querschnittsverzerrung das beste äußere Kennzeichen für den Zahigkeitszustand eines Werkstoffes.

Eine Kerbschlagbiegeprobe bricht stets dann, wenn die zur Verformung notwendige Beanspruchung größer als der Trennungswiderstand wird. Die für die Herbeiführung des Bruches erforderliche Kraft wird fast ausschließlich für die Verformungsarbeit aufgebraucht. Je größer diese war, desto umfangreicher wird die sichtbare Verzerrung an der Bruchfläche ausfallen.

Der Bruch einer Kerbschlagbiegeprobe gibt einige recht beachtliche Verformungscharakteristiken an die Hand. Die Bruchfläche selbst, der bis zum Bruch entstandene Biegewinkel und die Verformungsbreite der äußeren Kanten an der Schlagseite zeigen bei derselben Stahlsorte gesetzmäßige Erscheinungen, denen eine gewisse Bedeutung für die Beurteilung des Werkstoffes zukommt.

Die Ansicht, daß der sehnige Bruch mit erheblichen Formänderungen und dementsprechend hoher Schlagarbeit auftrate, dagegen der kristallinische, körnige Bruch mit geringen Formänderungen und niedriger Schlagarbeit zusammenfalle, wird nicht allgemein geteilt. Nun ist aber einigen legierten und vergüteten Stahlsorten der sehnige

Verformungsbruch stets eigen, auch dann, wenn sie eine mittelmäßige Kerbzähigkeit aufweisen (Abb. 87/1). Aber auch der kristallinische Trennungsbruch eines gegluhten Siemens-Martin-Stahles kann von hohen Kerbzahigkeiten begleitet sein. Dann beobachtet man allerdings bei Zunahme der kristallinen Fläche gegenüber dem sehnigen Anteil eine entsprechende, regelmäßige Abnahme der Kerbzahigkeitswerte (Abb. 87).

Auch der nach dem Bruch einer Kerbschlagbiegeprobe entstandene Biegewinkel wird gelegentlich zahlenmäßig angegeben und zur ergänzenden Beurteilung der Schlagarbeit herangezogen. Die richtige

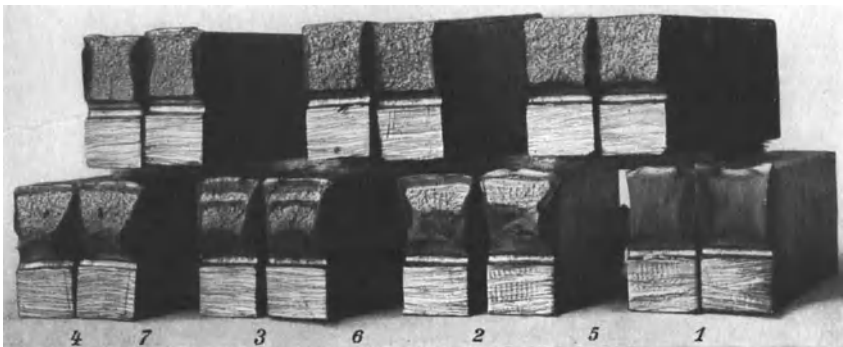


Abb. 87. Verschiedene Kerbschlagproben nach ihrer Kerbschlagarbeit und Bruchaussehen geordnet. 1. (22 mkg/cm<sup>2</sup>) aus Cr-Ni-Stahl, reiner Verformungsbruch. 2. (25 mkg/cm<sup>2</sup>) aus S.M.-Stahl, stark verzerrter Bruch mit großem Verformungsanteil. 3. (19 mkg/cm<sup>2</sup>) aus S.M.-Stahl, kristallinischer Trennungsbruch mit geringerem Verformungsanteil. 4. (13 mkg/cm<sup>2</sup>) aus S.M.-Stahl, kristallinisch, noch schmale Verformungszone. 5. (8 mkg/cm<sup>2</sup>) aus S.M.-Stahl, rein kristallinischer Trennungsbruch. 6. (5 mkg/cm<sup>2</sup>) S.M.-Stahl, grob-kristallinisch). 7. (2,6 mkg/cm<sup>2</sup>) S.M.-Stahl, kristallinisch, ohne jede Verformung.

Zusammenlegung beider Probehalfen macht jedoch unüberwindliche Schwierigkeiten, so daß sich große Fehler einschleichen können. Man achte darauf, daß die Verformungsfiguren genau ineinander passen.

Will man das Verformungsvermögen, das sich in der Verzerrung der äußeren Kanten eines Kerbbruches sichtbar äußert, als Kennzeichen der Kerbzähigkeit deuten, so ergeben sich für die Praxis wertvolle Zusammenhänge zwischen der Kantenhöhe  $A$  an der Schlagseite  $B$  und der spezifischen Schlagarbeit. Denn in der Regel pflegt mit der Kantenhöhe auch die Schlagarbeit zuzunehmen, wie in Abb. 88 dargestellt wird. Diese Beziehungen treten aber nur dann auf, wenn es sich um dieselbe Probeform und Stahlsorte bzw. Festigkeitsgruppe handelt.

Der sachkundige Abnehmer wird zwar das Bruchaussehen einer Kerbschlagbiegeprobe besonders aufmerksam prüfen, jedoch bleiben die ermittelten Zahlenwerte aus der spezifischen Schlagarbeit für die endgültigen Entscheidungen ausschlaggebend.

## 19. Beeinflussungen der Kerbschlagarbeit.

Es ist keineswegs für das Endergebnis gleichgültig, wie dies häufig angenommen wird, ob die Probebreite oder die Kerbtiefe verschieden

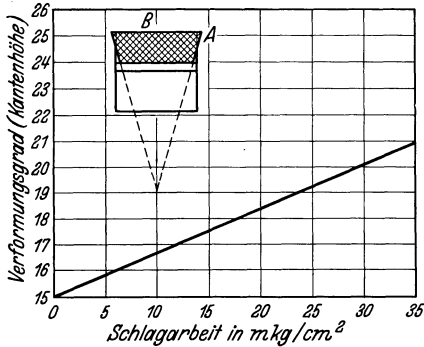


Abb. 88. Beziehungen zwischen Verformung und Schlagarbeit.

ausfallen, wenn man nur die Gesamtschlagarbeit auf den Querschnitt beziehe. Ein auf einen geringeren Querschnitt bearbeiteter Zugprobekörper gibt zwar immer noch proportionale Eigenschaftswerte, aber eine irgendwie in ihren Abmessungen veränderte Kerbschlagprobe läßt jede Proportionalität vermissen. Allgemein kann der Grundsatz gelten, daß mit der Verringerung der Probebreite bei gleichbleibender Höhe die spezifische Kerbschlagarbeit bzw. die

Zähigkeit abnimmt. Es bedeutet dasselbe, wenn man sagt, daß bei Tieferlegung der Kerbe bei sonst gleichen Probeabmessungen die Kerbschlagwerte entsprechend abfallen. Dieser Abfall von der Hoch- zur

Tiefelage der Kerbzähigkeit ist meist nicht regelmäßig, sondern geht nach Striebeck durch ein Streugebiet (Abb. 88), in dem die Kerbschlagarbeit außergewöhnlich verschiedeneinkann.

Dieses Streugebiet, das die Probebreite zwischen 15 und 25 mm umfaßt (hierbei handelt es sich um Proben von 15 mm Querschnittshöhe) sollte bei Abnahmeprüfungen möglichst gemieden

werden, d. h. eine stärkere Blechprobe als 15 mm müßte einseitig auf diesen Querschnitt heruntergearbeitet werden.

Wie aus vorstehender Zahlentafel 6a hervorgeht, kann man bei bestimmter Probebreite auch nur entsprechende Werte erwarten: Proben aus Blech von 35 mm Dicke, Kerbtiefe 15 mm, Rundkerb 4 mm  $\varnothing$ , bei gleicher Höhe. Diese Stahlsorte ist schon mit 15 mm Breite in das Streugebiet eingetreten. Bei 30 mm Breite nimmt sie zwar sehr niedrige Werte an, die jedoch bei den 5 Versuchen wenig verschieden sind.

Es sei aber noch darauf hingewiesen, daß es auch Werkstoffe gibt, die durch eine Verbreiterung des Bruchquerschnittes nicht so ungünstig beeinflußt werden. Es wäre Aufgabe der Forschung, ob sich nicht in

Zahlentafel 6a.

Stabbreite in mm				
10	15	20	25	30
16,2	8,5	3,9	5,2	3,0
15,1	12,8	4,5	7,1	3,5
16,0	4,3	7,1	4,3	3,2
16,5	4,9	3,7	9,6	2,9
15,1	11,3	6,4	10,5	3,5

diesem Verhalten eine unbekannte Eigenschaft verbirgt. Will man jedoch Vergleichswerte durch eine Prüfung erhalten, so sollte man die obigen Einflüsse auszumerzen suchen.

Sind die Ergebnisse zwischen Kerbschlagbiegeproben verschiedener Abmessungen zu vergleichen, so gilt als erste Voraussetzung, daß auch der Kerbdurchmesser der Probegröße

Zahlentafel 6 b.

Werkstoff	Probeform	Schlagarbeit aus dem Mittel von 5 Proben
Cr-Ni-Stahl	4 mm Rundkerb	34,0
	Spitzkerb . . .	28,0
	2 mm Rundkerb	13,7
	Spitzkerb . . .	13,8
S.-M.-Flußstahl. Festigkeit etwa 37 kg/mm <sup>2</sup>	4 mm Rundkerb	3,4
	Spitzkerb . . .	2,3
	2 mm Rundkerb	6,5
	Spitzkerb . . .	6,0
S.-M.-Flußstahl. Festigkeit etwa 55 kg/mm <sup>2</sup>	4 mm Rundkerb	2,1
	Spitzkerb . . .	4,8
	2 mm Rundkerb	5,8
	Spitzkerb . . .	6,0

entspricht. Wenn Abnahmevorschriften das Verhältnis der abgeänderten Normal-Kerbschlagprobe (Abb. 75 und 78) zur kleinen internationalen auf 2 : 1 setzen, so stellen doch diese Verhältniszahlen nur relative Werte dar; denn es gibt Werkstoffe genug, die dieses Verhältnis keineswegs aufweisen. Umrechnungsfaktoren für bestimmte

Werkstoffe mögen sich für die Abnahme desselben Werkstoffes eignen, werden sie aber auf andere Werkstoffe angewendet, dann sind un gerechtfertigte Bewertungen zu erwarten.

Aus der Zahlentafel 6 b geht unzweideutig hervor, daß die Ergebnisse der Kerbschlagarbeit bei den verschiedenen Stählen von der verwendeten Probeform abhängig sind. So gibt ein Chrom-Nickel-Stahl außerordentlich günstige Werte bei großen Probeabmessungen, während Siemens-Martin-Stähle wieder bessere Werte in bestimmten kleinen Abmessungen geben. Es zeigt sich, daß spröde Werkstoffe geringere Unterschiede zeigen

als sehr zähe. Diese Unstetigkeit gestattet daher eine Übertragung von einer Probeform auf die andere nur dann, wenn sichere Vergleichswerte für die Stahlart vorliegen. Für Abnahmevorschriften sollten zu den verschiedenen Werkstoffen auch die genauen Versuchsbedingungen angegeben werden. Ebenso können Werkstoffangebote mit Kerbzähigkeitswerten für einen Einkauf nur dann wertvoll sein, wenn nähere Angaben über ihre Ermittlung vorliegen.

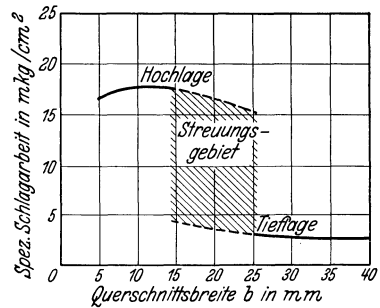


Abb. 89. Einfluß der Querschnittsbreite auf die spez. Schlagarbeit.

Daß abweichende Temperaturen alle mechanischen Eigenschaften stark beeinflussen, ist aus den Erörterungen über die Warmfestigkeit wohl bekannt, der Umstand jedoch, daß auch unter geringen Temperaturabweichungen im Versuchsstück oder im Versuchsraum die Kerbschlagbiegeproben keinen Vergleich der Versuchsergebnisse gestatten, wird nicht genug gewürdigt. Wenn auch hinlänglich darauf verwiesen wird, Prüfungen nur in einem Raum von 16 bis 20° C vorzunehmen, so wird doch häufig ohne Rücksicht auf die Folgen diese Regel nicht beachtet. Die Höchstlage der Kerbzähigkeit liegt zumeist zwischen 20 und 100° C; unter Raumtemperatur werden die meisten Werkstoffe an Sprödigkeit sehr stark zunehmen. Hierbei ist zu beachten, daß die nach Abb. 89 dargestellte Tieflage bei ausgeprägt zähen Werkstoffen nach der niederen Temperatur hin verlegt wird. Demnach ist guter Werkstoff in der Kälte weniger empfindlich als ein minderwertiger. Bei Temperaturen über 100° C gehen Ergebnisse von Kerbschlagversuchen allmählich in eine neue Tieflage über, um bei etwa 500° C den tiefsten Stand zu erreichen.

Die Versuche bei höheren Temperaturen setzen natürlich besondere Einrichtungen voraus. Ein elektrischer Glühofen, der dicht bei dem Pendelschlagwerk seine Aufstellung haben muß, ist mit Temperaturmeßeinrichtungen so zu versehen, daß die Temperaturen der Proben genau gemessen werden können. Die Backen der Schabotte sind möglichst durch entsprechende angewärmte Stücke warm zu halten; dies gilt insbesondere für Proben kleinerer Abmessungen.

## 20. Der Schlagzugversuch.

Bevor die Kerbschlagprobe ihre jetzige Bedeutung gewonnen hatte, glaubte man, das Verhalten der Werkstoffe bei stoßweiser Beanspruchung durch Einführung des Schlagzugversuches vereinzelt als Werk- und Abnahmeprobe kennenzulernen. Wenn auch diese Probe, rein äußerlich betrachtet, gewisse Ähnlichkeit mit der statischen Zugprobe zeigt, so sind doch beide in Versuchsdurchführung und Versuchsergebnissen grundverschieden.

Der Schlagzugversuch kann auf jedem Pendelschlagwerk ausgeführt werden. Ein an den Enden mit Gewinde versehener Probestab bestimmter Abmessung wird in die hintere Fläche des Pendelhammers so eingeschraubt, daß er genau senkrecht gesetzt ist. Am anderen Ende dieser Probe wird ein Querstück so befestigt, daß es beim Durchschwingen des Bären beiderseitig gleichzeitig auf die Schabotte aufschlägt. Hierbei wird die verbrauchte Arbeit in üblicher Art festgestellt, sowie nach vollendetem Bruch die Bruchdehnung und Kontraktion ermittelt. Durch Division der verbrauchten Arbeit durch die Dehnung wird die mittlere Zerreißkraft berechnet. Dies setzt natürlich eine genau vorgeschriebene



Meßlänge voraus. Bezieht man dagegen die verbrauchte Arbeit auf das verformte Stabvolumen, so wird die von den Stabköpfen nebst Hohlkehlen aufgenommene Arbeit vernachlässigt und die spezifische Arbeit je  $\text{cm}^3$  berechnet.

Für Abnahmeversuche sind selbstverständlich auch Bärgewicht und Fallhöhe vorgeschrieben.

Fehlerquellen werden in diesen Versuch — insbesondere durch etwa exzentrische Beanspruchungen des Probestabes — dann hineingetragen, wenn das aufschlagende Querstück einseitig die Schabottenhälfte zuerst trifft. Solche Beeinflussungen werden aber hauptsächlich nur bei härteren Werkstoffen nennenswert gefunden. Zur Vermeidung könnte man die Einspannungen mit Kugelschalen versehen, damit exzentrische Aufschläge sofort ausgeglichen werden.

## 21. Die Dauerversuche.

Die genaue Ermittlung irgendeiner Dauerfestigkeit befindet sich noch im Stadium ihrer ersten, wenn auch lebhaften Entwicklung, so daß ihrer gegenwärtigen Durchführung noch zu viel Unsicherheit anhaftet, um sie für die Werkstoffabnahme verwenden zu können. Es ist aber freudig zu begrüßen, daß sich die Abnehmerkreise an der Förderung und Klärung dieser neuen Festigkeitskonstanten beteiligen.

Nach Mailänder<sup>1</sup> ist der Zweck der Dauerversuche, die Vorgänge und Änderungen im Werkstoff, die einem Bruch vorangehen, aufzuklären und für die verschiedenen Werkstoffe diejenige höchste Beanspruchung festzustellen, die er dauernd, ohne zu brechen, ertragen kann. Die Ermittlung dieser Grenze, wenn man von einer solchen überhaupt sprechen darf, hat zur Schaffung verschiedener Verfahren und Apparaturen geführt. Wenn schließlich auch zugegeben werden muß, daß die heutigen Grundlagen von der Erkenntnis der „Ermüdung der Werkstoffe“ beachtenswert erweitert worden sind, so darf doch die Lückenhaftigkeit, mit der die Versuchsergebnisse und ihre Verwendung als Berechnungsgrundlage behaftet sind, nicht geleugnet werden. Andererseits sei aber der berechtigten Hoffnung Ausdruck gegeben, daß die Zeit nicht mehr fern ist, in der sich aus den gewonnenen Erkenntnissen über Dauerversuche neue Festigkeitsbestimmungen gewinnen lassen, die eine Korrektur der bisherigen ermöglichen.

### a) Die Ermüdung.

Bei der Behandlung der Frage der Dauerfestigkeit begegnet man dauernd dem Ausdruck „Ermüdung eines Werkstoffes“. Unter Ermüdung kann keineswegs eine Gefügeveränderung der Stähle und

<sup>1</sup> Mailänder: Stahl u. Eisen Jg. 44 S. 585.

damit eine Änderung ihrer Festigkeitseigenschaften zu verstehen sein, sondern sie muß zunächst als Folge elastischer Wirkungen angesprochen werden.

Ludwik<sup>1</sup> sagt, daß die Ermüdung in Abhängigkeit von der durch Verfestigung bedingten Zerrüttung des Werkstoffes zu bringen sei. Es ist leicht einzusehen, daß sich an der Außenfaser eines auf Biegung beanspruchten Probekörpers gewisse Überbeanspruchungen einstellen können. Ist diese Überbeanspruchung jedoch ohne Richtungswechsel ruhend, dann dürften sich nur bei einzelnen Nichteisenmetallen irgendwelche Wirkungen einstellen. Wird aber ein Körper dauernd und abwechselnd von einer anderen Richtung, wie etwa bei einer Welle oder Achse, an der Außenfaser auch nur gering überlastet, dann entstehen in den Kristallen der äußeren



Abb. 90. Gleitlinien infolge Überbeanspruchungen bestimmter Materialzonen.

Faser Gleitlinien, an denen sich die ersten feinsten Risse allmählich ausbilden, sich durch die Dauerwechsellast immer weiter vertiefen und

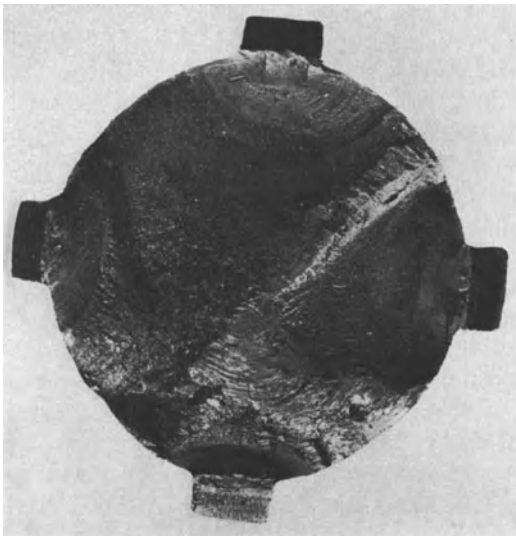


Abb. 91. Dauerbruch, der sich zugleich an 4 Stellen der krassen Querschnittsübergänge ausbildete.

— wenn sie an die Oberfläche des sich elastisch dehnenden Körpers gelangen — zum Anbruch werden (Abb. 90). Daß diese Anbrüche außergewöhnlich glatt erscheinen, ist auf die geringe Bewegungsmöglichkeit der Reißwände zurückzuführen. Je kleiner sie sind, desto enger der Reiß und desto glatter reiben sich die Wände. Daher vergrößern sich auch die Bruchflächen mit der Entfernung von der Anbruchstelle (Abb. 91). Von Ermüdung im organischen Sinne kann nun

freilich nicht die Rede sein; denn ein „ermüdeten“ Werkstoff kann nicht wieder arbeitsfähig gemacht werden, ein Ersetzen verlorengegangener

<sup>1</sup> Ludwik: Z. ang. Math. Mech. Bd. 15 S. 68.

Stoffe oder Zustände durch Neuzuführung oder Neubildung ist unmöglich. Der Ermüdungszustand des Werkstoffes wäre endgültiger Natur.

Nun darf nicht übersehen werden, daß die meisten Dauerbrüche Ermüdungsbrüche in dem oben geschilderten Sinne nicht sein können. Sie sind vielmehr die Folge von Kerbwirkungen, die von vornherein durch Oberflächenverletzung, Querschnittsübergänge, Rostanfressungen, freiliegende Schlackeneinschlüsse und Gasbläschen gegeben sind. Die Empfindlichkeit eines Werkstoffes gegenüber solchen Oberflächenzuständen ist natürlich mit der Größe der Dauerfestigkeit eines Werkstoffes im engeren Sinne nicht identisch. Vielmehr haben wir es hier mit einer Eigenschaft, der Kerbempfindlichkeit zu tun, die noch der Erforschung harret. Da nun jedoch Ermüdungsbrüche, die von inneren Materialzuständen ihren Ausgang nehmen, sich von solchen, die durch Oberflächenzustände hervorgerufen wurden, nicht immer genau trennen lassen, wird man allgemein von Dauerbrüchen sprechen (Abb. 91). Je nach der Beurteilung der mit dem Dauerversuch zusammenhängenden Fragen sind eine Anzahl Methoden herausgebildet worden, um kennzeichnende Eigenschaften zahlenmäßig zu ermitteln.

Nach dem Verhalten eines Werkstoffes bei ruhender Dauerlast, abgesehen bei höheren Temperaturen, wird selten gefragt werden, da zumeist die Ermittlung der Zug-, Druck- und Biegefestigkeit hierfür genügende Berechnungsgrundlagen gewähren. Was an steigendem Interesse gewinnt, ist eine Dauerbeanspruchung mit Belastungswechsel.

Wenngleich Dauerprüfungen als Abnahmeprüfungen noch keinen Eingang gefunden haben, so sind doch einige festumrissene Grundsätze dafür vorhanden. Es wird allgemein gefordert werden, daß solche amtlichen Abnahmeversuche den größeren betriebsmäßigen statischen Belastungen mit geringeren Dauerwechselbeanspruchungen, also dynamischer Natur, entsprechen. Außerdem werden eindeutige Vorschriften über die Oberflächenbeschaffenheit der Versuchsstücke, deren Einfluß bekannt ist, geschaffen werden müssen.

### **b) Die Dauerschwingungsfestigkeit.**

Sie ist diejenige größte Spannung, die von einem Werkstoff bei dauernder Beanspruchung von einem positiven Maximum nach einem ebenso großen negativen gerade noch ertragen werden kann. Man könnte auch sagen, wieviele wechselnde Beanspruchungen der Werkstoff (durch bestimmte Belastungen und Entlastungen) überhaupt ohne Bruch aufnehmen kann.

Vor etwa 60 Jahren hat schon Wöhler als rühriger Eisenbahntechniker eingehende Versuche darüber vorgenommen, wie sich Eisenbahnwerk-

stoffe bei wiederholter Belastung verhalten würden. Er konstruierte Maschinen, die ihm diese Verhältnisse bezüglich Zug, Biegung und Verdrehung schaffen sollten. Nach ihm sind nun viele Forscher seinen Anregungen gefolgt und haben einige ihm unterlaufene Irrtümer richtig gestellt. Die Dauerbiegeversuche von Moore mit Kommers und Jasper zeigen instruktiv, wie durch Belastungsabnahme diejenigen Verhältnisse der Dauerwechsellast bei verschiedenen Stählen gefunden werden, die seine Schwingungsfestigkeit kennzeichnen.

Nun wird, wie oben bereits erwähnt, die Schwingungsfestigkeit von vielen Voraussetzungen abhängig sein: Oberflächenbeschaffenheit der Proben, der Glühzustand und die Reinheit des Werkstoffes. Eine gründliche Einführung in die Fragen der Dauerfestigkeit vermittelt das Buch Otto Graf: Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente<sup>1</sup>.

Die Versuchsdurchführung richtet sich nach der zur Verfügung stehenden Maschine. Für Dauerbiegeschwingungen sei auf entsprechende Literatur verwiesen. Außerdem ist die Föppl'sche Apparatur für Drehschwingungen bekannt geworden. Für Biege- und Druckwechselbeanspruchungen sei auf die Schenkschen Maschinen aufmerksam gemacht. Sie alle stellen verschiedene Systeme dar, deren Vereinheitlichung auf Schwierigkeiten stoßen dürfte. Es ist aber festzustellen, daß Vergleiche der Versuchsergebnisse zwischen der Amslerschen und Schenkschen Dauerbiegeschwingungsmaschine sehr gut übereinstimmen. Eine bemerkenswerte Apparatur für Dauerwechselzugversuche ist der Amsler'sche Pulsator. Zur Erzeugung von Druckschwankungen kann er an jede mit Öldruck betriebene Zerreißmaschine angeschlossen werden. Auch Losenhausen und Mohr und Federhaff haben ähnliche Prüfmaschinen konstruiert.

### c) Der Dauerwechselschlagversuch.

Hie und da begegnet man den Sonderabmachungen bei der Werkstoffabnahme, die Dauerschlagzahl neben anderen Eigenschaften zu ermitteln. Die Dauerwechselschlagprobe, die als rein technologische Probe zu bewerten ist, gibt zwar dem Konstrukteur nur Vergleichszahlen an die Hand, die den Unterschied gegen Ermüdungsbeanspruchungen feststellen, deckt aber dabei unbekannte Verhältnisse auf, welche die Berechtigung dieser Probe beweisen. Andererseits ist kaum zu erwarten, daß sie eine weitere Durchbildung erfährt und als Abnahmeprobe allgemein eingeführt wird. Die dazu benützten Apparaturen findet man im Krupp'schen Dauerschlagwerk (Mohr und Federhaff) und dem Amsler'schen Universaldauerhammer.

---

<sup>1</sup> Berlin: Julius Springer 1929.

## 22. Technologische Prüfungen.

Bevor exakte Werkstoffprüfungen den Verbraucher über die Zuverlässigkeit eines Werkstoffes aufklärten, gab es genug behilfsmäßige Versuche, seine Brauchbarkeit für bestimmte Zwecke festzustellen. Solche Brauchbarkeitsversuche haben sich bis heute auch in den Abnahmevorschriften erhalten und sind unentbehrliche Stützen der Werkstoffuntersuchung geworden. Da die Werkstoffabnahme zahlenmäßige Angaben verlangt, hat man versucht, wenn auch nicht immer mühe-los, die Versuchsergebnisse in Zahlen auszudrücken.

Als bekanntester Versuch dieser Art gilt der

### Biegeversuch.

Der Biegeversuch wird nach den Abnahmevorschriften so ausgeführt, daß ein Probestab, gleichgültig welcher Abmessung und Form, an beiden Enden aufgelagert und in der Mitte mit Hilfe eines bestimmten Dornes durchgebogen wird (Abb. 92). Gute

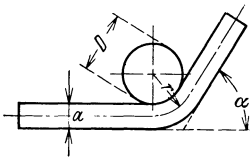


Abb. 92. Schematische Darstellung eines Biegeversuches.

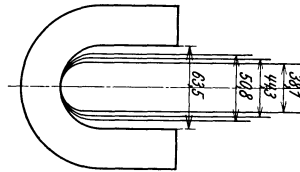


Abb. 93. Die durch verschiedene Dorn-durchmesser erhaltenen Radien bzw. Schenkelabstände.

Biegefähigkeit eines Werkstoffes setzt die Möglichkeit einer Verlängerung auf der Zugseite und einer Stauchung auf der Druckseite voraus. Hierbei verdient die Probedicke besondere Beachtung, da mit der Dicke Stauchung und Verlängerung proportional wächst. Diese beiden Verformungsfolgen nehmen mit steigender Durchbiegung wesentlich zu. Die bleibende Durchbiegung wird zunächst als Biegewinkel, seltener als Biegegröße festgestellt.

Die Winkelgröße wird zur Vermeidung von Unstimmigkeiten am besten mit Winkelmesser gemessen. Der Versuch gilt als erfüllt, wenn der vorgeschriebene Winkel ohne Anbruch erreicht ist. Da der Vorschrift in der Regel ohne Schwierigkeit entsprochen werden kann, pflegt man den Versuch bis auf den vorgeschriebenen Winkel bzw. bis zum Bruch durchzuführen. Die Vorschriften beziehen sich entweder auf bestimmte Dorndurchmesser und Probedicke oder bei einer bestimmten Probeabmessung auf den geforderten Radius bzw. Biegewinkel. Bisweilen wird auch der Abstand der beiden Biegeschenkel angegeben (Abb. 93).

Die in einigen Abnahmevorschriften als Durchbiegungsmaßstab angezogene Tetmayersche Biegegröße wird nach DIN 1605 erhalten.

Hierin bezeichnet  $r$  den Biegehalbmesser in Mitte der ursprünglichen Probedicke  $a$  (Abb. 92). Errechnung nach Formel: Biegegröße  $Bg = 50 a/r$ .

Beim Falten oder Biegen um einen Dorn von vorgeschriebenem Durchmesser  $D$  ergeben sich angenähert folgende Biegegrößen:

$D$	0	0,5a	1,0a	1,5a	2,0a	2,5a	3,0a
$Bg$	100	67	50	40	33	28	25

$R$	Biegegröße in $vH$		
	$D=20$	25	30
76	152	197	246
74	156	203	254
72	161	210	263
70	167	217	273
68	172	225	283
66	178	234	294
64	185	243	306
62	192	253	319
60	200	263	333
58	208	275	349
56	217	288	366
54	227	301	385
52	238	317	406
50	250	334	429
48	263	352	454
46	278	373	484
44	294	397	518
42	312	424	556
40	333	455	600
38	357	490	652
36	385	532	714
34	417	581	790
32	454	641	882
30	500	714	1000
28	556	806	
26	714		
24	833		
22			

Abb. 94. Schablone zur Feststellung der Biegegröße (3 verschiedene Probedurchmesser  $D$ ).

Der Dorn kann dabei beliebig gewählt werden. Bei häufiger Errechnung der Biegegröße ist es von gewisser praktischer Bedeutung, eine Biegegrößenschablone, etwa nach Abb. 94, auf harter Stahlplatte herzustellen.

Da man weiß, daß mit steigendem Kohlenstoffgehalt bzw. mit steigender Festigkeit die Biegefähigkeit abnimmt, werden für die verschiedenen Werkstoffe verschiedene Anforderungen gestellt. Weiche Stähle und Metalle werden vollkommen gefaltet und harte und empfindlichere auf einen vorgeschriebenen Winkel bzw. Radius oder Schenkelabstand gebogen. Allgemein läßt sich bei richtiger Auslegung aller Werkstoffvorschriften sagen, daß die geforderten Biegungen erreicht werden können, wenn Werkstoffe und Proben den Vorschriften gemäß vorbereitet werden.

Bedauerlich ist, daß bei technologischen Proben am allerwenigsten die Prüfungsverfahren und Probeformen einheitlich geregelt worden sind. Man darf andererseits nicht die Verschiedenheit der Wünsche der einzelnen Interessengruppen

wegen der mannigfaltigen Anforderungen an den Werkstoff, die wohl die Ursache zu solchen Sonderabmachungen sind, außer acht lassen.

Nun sind freilich Redewendungen in den Vorschriften, wie „ohne Risse, ohne Anrisse oder ohne Anbrüche zu zeigen“, keineswegs geeignet, dem Abnehmer und Hersteller fest umrissene Weisungen zu geben. Im Gegensatz zu den genauen Festigkeitsabnahmeprüfungen, bei denen die Sollmaxima und -minima genaue zahlenmäßige Grenzen sind, können sich hier die persönlichen Ansichten von Abnehmer und Hersteller hemmungslos auswirken. Durch die Möglichkeit, dieselbe Biegeprobe als gelungen oder mißlungen zu beurteilen, wird das Abnahmengeschäft sehr unsicher.

Die näheren Umstände, die das Versagen oder Gelingen eines Biegeversuchs verursachen, seien im Folgenden kritisch betrachtet. Zunächst sind es die in Abschnitt 49 erörterten Verunreinigungen und sichtbaren Inhomogenitäten, die in jedem Werkstoff auftreten. Werden z. B. Gasblasen, Schlackeneinschlüsse oder dgl. durch Bearbeitung freigelegt, so sind infolge ihrer Kerbwirkung metallische Anrisse beim Biegen unvermeidlich. Weichere zähe Werkstoffe gleichen den durch den Anriß geschaffenen Kerbgrund aus, härtere, spröde dagegen lassen den plötzlichen Bruch eintreten. Mag sein, daß gerade das Verhalten eines Stoffes gegenüber Kerbwirkungen ein Kriterium seiner

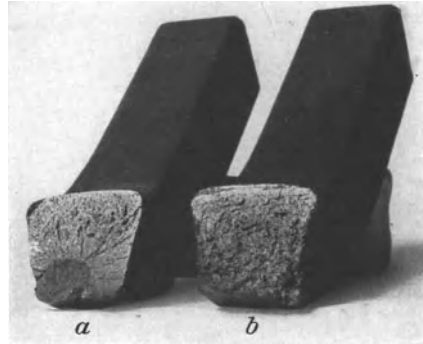


Abb. 95. Bruchaussehen von Biegeproben *a* eines reinen und *b* eines stark durch Schlacken verunreinigten Werkstoffes. Bei *a* wurde die Zugseite an die schneller abgekühlte Außenzone, bei *b* nach der Innenzone gelegt. *a* ist kristallinisch bei 170°, *b* dagegen schwammig bei 80° gebrochen.

Qualität ist, so bleibt immer noch die Frage nach der Beurteilung der geringen Anrisse und Anbrüche ungelöst. Sie müssen dem metallurgischen Vorgang entsprechend beurteilt und daher unbeachtet bleiben, soll nicht

ein Abnehmer dauernd in Konflikt mit seiner Pflicht geraten. Hat nun jedoch ein Werkstoff nicht die innere Konstitution, kerbenähnliche Oberflächenfehler auszugleichen, sondern ihnen durch Bruch nachzugeben, dann mag er bei Nichterfüllung der geforderten Durchbiegung als nicht bedingungsgemäß angesehen werden. Kein Abnehmer fühlt sich ohne fest umrissene Anweisungen je berechtigt, einen Zugstab, wie Abb. 97,

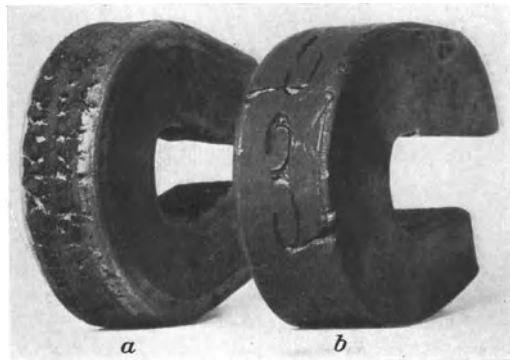


Abb. 96. Biegeproben mit metallischen Anbrüchen: *a* infolge Oberflächenanrisse, durch zu heißes Schmieden entstanden. *b* infolge Verletzungen von tief eingeschlagenen Zahlen. Werkstoff St. 38:13.

der häkchenartige Anrisse infolge zufällig bloßgelegter Seigerungsadern zeigt, zu verwerfen, wenn er alle geforderten mechanischen Eigenschaften aufweist. Nicht anders können die nicht zum Bruch führenden Risse auf der Zugseite der Biegeproben beurteilt werden (Abb. 96, 96a und 97).

Man unterscheide auch grundsätzlich zwischen einer Oberflächenverletzung, wie sie unter der spröden Walz- oder Schmiedehaut durch metallischen Grund gekennzeichnet ist und tiefere Schichten des Werkstoffes trennende Anbrüche.



Abb. 97. Unten: Zugstab, der trotz hakenartiger Anrisse den Vorschriften genügt; oben: dazu gehöriger Biegestab, dessen Anrisse zur Verwerfung des Werkstoffes führten.

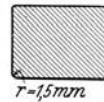


Abb. 97a. Abrundung einer Biegeprobe-kante nach Lloyds Register.

metallischen Einschlüsse und Blasen als langausgestreckte scharfe Kerben wirken, die die Biegefähigkeit stark herabsetzen müssen. Es sind daher

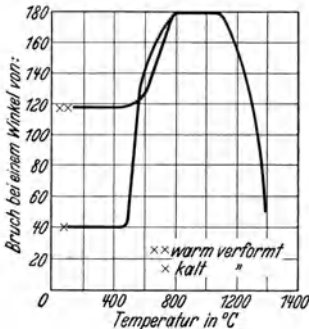


Abb. 98. Biegefähigkeit eines Kohlenstoffstahles mit 0,45% C bei Verwendung eines Dornes der doppelten Probendicke in Abhängigkeit von Glühtemperatur.

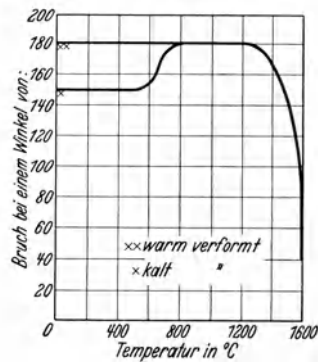


Abb. 99. Biegefähigkeit eines Kohlenstoffstahles mit 0,15% C bei Verwendung eines Dornes gleich der Probendicke, Schenkel aneinander gelegt, in Abhängigkeit von Glühtemperatur.

die Anforderungen an einen Querbiegestab gegenüber dem Längsbiegestab noch weiter herabzusetzen, als es bei der Quersugprobe gegenüber der Längszugprobe gefordert wird. Hierher gehören auch die bekannten Erscheinungen an Rohrbiegeproben, die durch das Zusammendrücken der beiden Rohrwände bis auf einen vorgeschriebenen Abstand denselben Beanspruchungen ausgesetzt werden, wie die Biegeprobe unter einem Dorn (Abb. 110).



Da der Stahlguß, dessen nichtmetallische Einschlüsse eine natürliche Orientierung haben, am Formrande schnell abgekühlt wird, werden alle spezifisch leichteren Verunreinigungen nach der inneren länger warm verbleibenden Zone abgegeben. Legt man nun die Zugseite einer Biegeprobe nach dem reineren Randmaterial, dann würden nur selten Anrisse auftreten; liegt aber die Zugseite in der inneren Zone, so sind auch die besprochenen Anbrüche eher zu erwarten (Abb. 94).

Da sich bei Biegebeanspruchungen die Innen- und Außenwand nahtlos gezogener Rohre und gezogener und gewalzter Hohlkörper abweichend verhalten, hat man in einigen Vorschriften ein einheitliches Vorgehen angestrebt. Man fordert die Lage einer Probe so, daß die Außenwand die Zugseite einer Biegeprobe bildet. Das ist nach obigen Erwägungen für den Ausfall eines Versuches von Wert. Allein andere Faktoren führen gerade an der Außenseite eine Einbuße der Biegefähigkeit herbei. Hierher gehören zunächst Walz- und Ziehriefen, Überwalzungen und bei härteren Werkstoffen nicht zuletzt Härterisse. Letztere stellen die denkbar schärfsten Kerben dar, die zumeist zum frühzeitigen Bruch des Probestückes führen. Auch geschmiedete und gegossene Werkstücke, die einseitig schärfer abgekühlt oder sehr heiß verarbeitet wurden, zeigen häufig auf der Außen- oder zuerst abgekühlten Seite feinste Risse. So führen die Biegeproben einiger harter Gußbronzen stets dann zum Bruch, wenn ihre Außenseite (bei Hohlkörpern) gleichzeitig Zugseite ist; umgekehrt halten sie aber jede Faltung aus. Ähnlich verhalten sich gehärtete und vergütete Federstähle, die bei vorgeschriebenen Biegeversuchen durch die häufig auftretenden Härterisse brechen.

Nicht weniger bedenklich sind auch die durch mechanische Bearbeitung hervorgerufene Kerben. Dreh- und Hobelriefen, wenn sie quer zur Zugrichtung der Durchbiegung liegen, werden in vielen Fällen geringere oder stärkere Anbrüche hervorrufen. Daher sind solche Riefen durch Abschleifen oder Feilen zu vermeiden (Abb. 96). Desgleichen dürfte jede scharfe Verletzung der auf der Zugseite liegenden Oberfläche Anbrüche nach sich ziehen (Abb. 96b).

Nicht zuletzt ist das Gelingen eines Biegeversuchs von der Zuverlässigkeit der Biegevorrichtung abhängig. Zumeist bestehen an den dazu vorgesehenen Apparaten für die Auflagerungen, also die Stützpunkte, Einrichtungen für deren beiderseitige Beweglichkeit. Sind es Rollen, so ist dafür Sorge zu tragen, daß sie ihre Beweglichkeit behalten und regelmäßig geschmiert werden; sind es Lagerschalen mit Kugeln, daß sie nicht



Abb. 100. Biegestab eines Spezialstabes bei  $115 \text{ kg/mm}^2 \sigma_B$ .

stark verunreinigt sind. Für Rundstäbe und Rohre ist in die Rollen oder sonstige Auflagerung eine entsprechende Aussparung vorzusehen, um die Auflagerfläche des Biegestabes zu vergrößern und ihn sicher zu lagern.

Ist die Biegestabform nicht vorgeschrieben, dann wird ein runder Biegestab dem quadratischen von gleichem Durchmesser gleichgestellt. Versuche ergeben nur unwesentliche Unterschiede, die jedoch zugunsten der runden ausfallen. Bei quadratischen oder rechteckigen Biegestäben ist eine Kantenabrundung vorzunehmen, die in einigen Abnahmebedingungen genau festgelegt ist (Abb. 97a). Die Ausrundung der Kanten gewinnt mit steigender Festigkeit an günstigem Einfluß auf die Biegefähigkeit; wird aber bedeutungslos, ja sogar schädlich, wenn sie mit einem Werkzeug quer zur Stabachse vorgenommen wird.

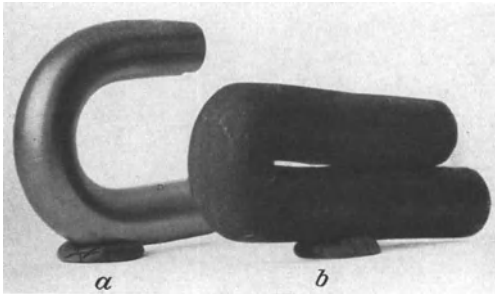


Abb. 101. Biegeprobe *a* auf 180° von Stahl 60:11, *b* Biegeprobe gefaltet, von molybdänlegiertem Stahl entnommen.

Das Gelingen eines Biegeversuchs ist von der Wärmebehandlung nur bedingt abhängig. Es erscheint nach einigen Überlegungen sicher, daß kalt bearbeitete Werkstoffe nur eine geringe Biegebarkeit besitzen können, und zwar nimmt sie mit dem Verformungsgrad proportional ab. Dies hängt natürlich mit der Selbstverfestigung durch Kaltreckung oder

Stauchung zusammen. Mit dem Glühen an der Perlitlinie (Abb. 98) erhält ein Stahl ein hohes Formänderungsvermögen, das auch durch Glühen bis zu hohen Temperaturen nur geringe Einbuße erleidet und nach Abb. 98 den günstigen Ausfall der Biegeprobe gewährleistet. Erst die verbrannten Stähle lassen die Biegefähigkeit auf ein Minimum herabsinken (Abb. 98, 99). Warmverformte aber ungeglühte oder gegossene Stähle mit geringerem Kohlenstoffgehalt verhalten sich beim Biegeversuch wie die geglühten (Abb. 99). Die Zugseite eines Stahlformstages zeigt dann ebenso wie der überhitzte, warmgeschmiedete Stahl ein knittriges Äußeres. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt wird auch der warmverformte ungeglühte Stahl spröde, so daß z. B. ein Stahl mit 0,45 C schon bei geringer Formänderung beim Biegen zu Bruch geht. Gleichfalls verlieren auch alle kaltverarbeiteten Nichteisenmetalle einen Teil ihrer Biegsamkeit, die ihnen durch eine entsprechende Warmbehandlung wieder verliehen wird.

Die veredelnden Legierungszusätze wie Nickel, Molybdän, Vanadium u. a. geben dem Stahl auch noch bei außergewöhnlich hohen Festigkeiten eine befriedigende Biegebarkeit. So konnte ein vergüteter Chrom-Nickel-

Stahl noch bei einer Festigkeit von  $115 \text{ kg/mm}^2$  bei geringem Biegeschenkelabstand auf  $180^\circ$  gebogen werden (Abb. 100). Desgleichen hielt ein molybdänlegierter aber ungeglühter Stahl der Rheinmetall-Edelstahlwerke Düsseldorf noch die für sehr weiche Flußstähle vorgesehene Faltprobe aus (Abb. 101 b).

Erhöhte Schwefel-Phosphorgehalte im Stahl pflegen die Biegefähigkeit nur dann erheblich herabzusetzen, wenn sie örtlich angereichert auftreten; dann freilich führen sie bei harten Stählen immer zum Bruch und bei weicheren, sofern diese Stellen freigelegt sind, zu Anrissen.

### 23. Abgeänderte Biegeversuche.

Die Biegeversuche werden zwecks Erforschung besonderer Eigenschaften nicht selten nach Form und Werkstoffzuständen wesentlich abgeändert.

#### a) Die Kerbbiegeprobe.

Ein Vierkantprobestab beliebigen Querschnittes oder mit der normalen Abmessung von 30 mm Seitenlänge wird in seiner Mitte mit einer scharfen Kerbe von  $60^\circ$  und einer Tiefe von 20% der Stabdicke versehen. Eine statische Last wirkt mit Hilfe eines Dornes so auf den gekerbten

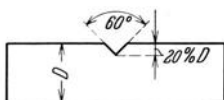


Abb. 102. Probeform einer Kerbbiegeprobe.

Probestab, daß die gekerbte Seite die Zugseite bildet. Zur Beschleunigung dieses Prüfverfahrens lassen es manche Abnehmer (Reichsmarine) zu, die Kerbe durch Einrieb mit Meißel herzustellen; allerdings ist bei ungünstigem Ausfall bei einer Wiederholung des Versuchs die Einkerbung durch Einhobeln vorgeschrieben (Abb. 102).

Der Versuch wird stets bis zum Bruch oder deutlich sichtbarem Anbruch durchgeführt. Die Kerbbiegeprobe führt ihre Anwendung und Bedeutung auf das ehemals vielfach für Bolzen, Schrauben und andere Werkstücke verwendete Schweißisen zurück. Das gute, aus vielen dünnen Lagen bestehende Schweißisen, das bekanntlich im teigigen Zustande gewonnen wird, hat bei hervorragender Qualität die Eigenschaft, gegen Kerbe unempfindlich zu sein, während ein Flußisen gleicher Festigkeit kristallinisch durchbricht (Abb. 103). Dieser auch heute noch nicht durch

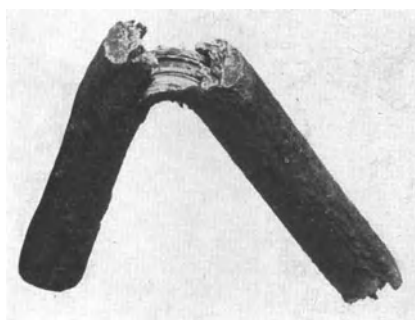


Abb. 103. Typisches Bruchaussehen einer Schweißisenkerbbiegeprobe, wie deren Aussehen nach den verschiedenen Bedingungen verlangt wird.

andere Werkstoffe wettgemachte Vorteil des Schweißeisens gegenüber Kerbbeanspruchungen hat seine Ursache darin, daß der Kerb nur die von ihm in Mitleidenschaft gezogenen Eisensträhnen mitzureißen in der Lage ist, während die folgende am Kerb unbeteiligte selbständige Schicht, zumeist durch feine Schlackenteilchen begrenzt, nur gewöhnlichen Biegebeanspruchungen unterliegt. Die nicht mehr von der Kerbwirkung betroffenen Lagen stellen einen verzerrten, sehnigen Anbruch dar, der das eigentliche Kriterium für die Kerbbiegeprobe an Schweißeisens bildet. Diese Probe wird heute noch in der Regel dort vorgeschrieben oder empfohlen, wo Schweißeisens als Baustoff zugelassen ist.

### b) Gewindebiegeprobe.

Diese Probe findet in der Hauptsache als Abnahmeversuch an Stehbolzenwerkstoffen aus Rot- oder Mangankupfer Anwendung. Auf einen Bolzen wird ein sauberes, glattes, allerdings werkstattübliches Gewinde aufgeschnitten und der Probestab bis zum Zusammentreffen beider Schenkel zusammengebogen. Dieser Versuch muß mindestens mit einem dickeren Dorn begonnen werden. Um die Gewindebiegeprobe sauber auszuführen, läßt man den Dorn mittels eines weicheren Metalles wirken. Die Gewindekerbempfindlichkeit wird festgestellt, wenn sich der Werkstoff offensichtlich im Gewindegrund trennt. Da diese Probe auftretende Fehler nicht genau erklärt, dürften hier Meinungsverschiedenheiten Tor und Tür geöffnet sein; denn die Übergänge vom Rauwerden des Gewindegrundes durch Biegungsbeanspruchung bis zum tatsächlichen, unstrittigen Riß sind so mannigfaltiger Natur, daß die Beurteilung nur subjektiv sein kann (Abb. 104).

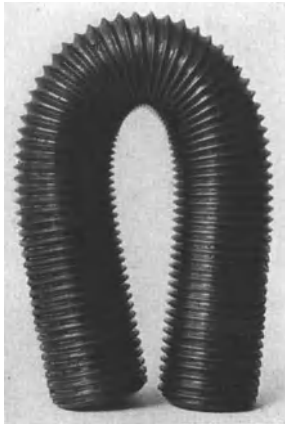


Abb. 104. Gewindebiegeprobe aus Rotkupfer.

### c) Hin- und Herbiegeprobe.

Drähte und Streifen von dünneren Blechen werden in eine verhältnismäßig einfache schraubstockähnliche Vorrichtung eingespannt, um sie durch mehrmaliges Hin- und Herbiegen um  $180^\circ$  bis zum Bruch einer für solche Werkstoffe empfindlichen Probe zu unterziehen. Die Anzahl der gezählten Biegungen bis zum Bruch wird als Biegezahl bezeichnet. Je eine vollständige Biegung ist beendet, wenn der Probestab die Bewegung aus der senkrechten Lage um  $90^\circ$  nach einer Seite und zurück in die senkrechte Lage ausführt. Die Biegezahl wird sehr stark von äußeren Umständen, unter denen sich das Hin- und Herbiegen

vollzieht, beeinflusst. Zunächst wird aus leicht erklärlichen Gründen der Abrundungsradius der Klemmbanken die Biegezahl bestimmen. Für Drähte über 4 mm wird zumeist ein Abrundungsradius von 10 mm gewählt, für geringere Stärken 5 mm (Abb. 105). Sind Drähte oder dünne Bleche durch Rekristallisation grobkörnig geworden, dann wird die Biegezahl ebenso herabgesetzt, als wenn Blasen, Lunker und andere Verunreinigungen den an sich geringen Querschnitt weiter wesentlich schwächen. Die Hin- und Herbiegeprobe wird neuerdings vielfach durch andere ersetzt. Hierzu gehört

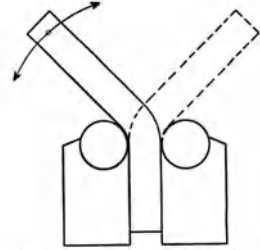


Abb. 105. Schematische Darstellung des Biegevorganges bei der Hin- u. Herbiegeprobe.

#### d) die Verwindungsprobe.

Ein Draht von einer vorgeschriebenen Länge wird festgespannt und um seine Längsachse gedreht (Abb. 106). Der Gütemaßstab ist die

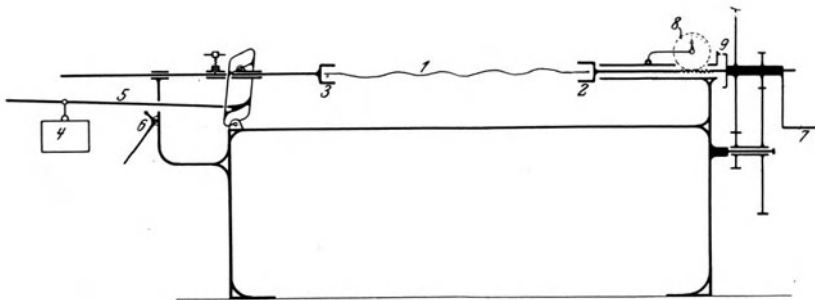


Abb. 106. Schematische Darstellung des Verwindungsvorganges und der dazu gebräuchlichen Apparatur.

Anzahl der Verdrehungen, die ein Draht bei einer bestimmten Meßlänge bis zum Bruch aushält. Die vorgeschriebene Meßlänge beträgt meist  $75 \times$  Durchmesser des Drahtes, mindestens aber 150 mm (Abb. 107 b). Die in Abb. 107 b gezeigte Verwindungsprobe ist einem doppelten Leitungsdraht, der die Verwindung deutlich erkennen läßt, entnommen. In ihrer Verlängerung ist eine sog.

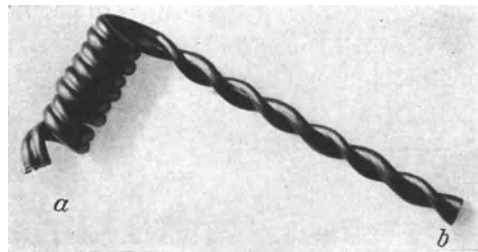


Abb. 107. a Wickelprobe von einem doppelten Straßenbahnleitungsdraht. b Verwindungsprobe von demselben Draht.

### e) Wickelprobe

ausgeführt, die neuerdings einige andere Drahtprüfungen ersetzen soll (Abb. 107a). Ihre Ausführung ist nach den Vorschriften und Sonderabmachungen sehr stark abweichend. So schreibt der Germanische Lloyd für Drähte zu Drahttauwerkklitzen vor, daß ein Drahtende in eng aneinanderliegenden Windungen 8mal um einen Draht gleichen Durchmessers zu wickeln, dann zurückzuwickeln und wieder gerade zu strecken sei. Die Probe gilt als gelungen, wenn der wieder gestreckte Draht keinen Anbruch zeigt.

Die vorgenannten Prüfvorgänge (c, d, e) werden auch durch Ziehriefen stark beeinflusst, so daß Brüche vorzeitig an den gewundenen Riefen entlang laufen. Harte Stellen im Draht beteiligen sich nicht an den Verformungen, weshalb die Verwinde- oder Biegezahl nicht erreicht werden kann. Die durch Beizen hervorgerufene Beizsprödigkeit wird durch diese Versuche sehr scharf erfaßt.

### f) Die Schlagbiegeprobe.

Nach einigen Werkstoffvorschriften (der Reichsmarine, Vereinigte französische Eisenbahngesellschaften u. a.) wird für Stahlguß die Schlagbiegeprobe ausgeführt. Ein ungekerbter Stab von vorgeschriebenen Abmessungen wird auf den abgerundeten Stützen eines Fallwerkes, deren Abstand genau bestimmt wird, so gelagert, daß ein Fallbär aus einer bestimmten Fallhöhe auf die Mitte der Probe herabfällt. Der Versuch wird so oft wiederholt, bis eine bestimmte Durchbiegung erreicht ist. Am Versuchsstab dürfen sich bis zum vorgeschriebenen Winkel keine Anrisse bilden. Der Schlagbiegeversuch unterliegt in erhöhtem Maße denselben Beeinflussungen wie der Biegeversuch an Stahlgußstäben (Abb. 223 und 224).

### g) Die Winkelbiegeprobe.

Diese wird nach den verschiedenen Bedingungen entweder als Ausbreitprobe oder als Zusammenschlagprobe ausgeführt. Im ersten Falle müssen sich die Schenkel eines etwa 100 mm langen Winkeleisens so ausbreiten lassen, daß sie eine Ebene bilden (Abb. 108). Im zweiten Fall sind die Schenkel eines solchen Stückes nach innen so zusammenzuschlagen, daß sie aufeinanderliegen. Daneben werden auch andere Versuchsausführungen angegeben. Bei größeren Abmessungen der Winkelprofile wird von der Ausführung der Probe abgesehen. Der Versuch gilt als gelungen, wenn sich keine Risse bemerkbar machen.

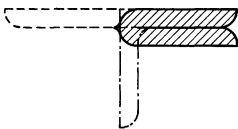


Abb. 108. Winkelzusammen-schlag- und Ausbreitprobe.

### h) Die Doppelfaltprobe.

Sie wird in einigen Vorschriften bei der Prüfung dünnerer Bleche und dünnwandiger Rohre angewandt. Der Versuch wird gegenüber der einfachen Faltprobe durch ein nochmaliges Falten verschärft (Abb. 109). Die Ecke mit der doppelten Falte wird besonders stark beansprucht.

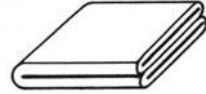


Abb. 109. Doppelfaltprobe (Taschentuchprobe) von dünnwandigem Kupferrohr.

### i) Die Gußbiegeprobe.

Siehe Abschnitt 37.

### k) Die Rohrbiegeprobe.

An Rohren, deren Werkstoff geprüft werden soll, wird ein Abschreck- bzw. Härtebiegeversuch vorgenommen, wenn die Rohrwanddicke nicht mehr als 15% des Außendurchmessers beträgt. Die abgeschreckten Rohrabschnitte werden bei dem Versuch zwischen zwei parallele Platten gelegt und bei weichen Werkstoffen auf das zweifache, bei härteren (nach Bauvorschriften über 45 kg/mm<sup>2</sup>) auf des vierfache der Rohrwanddicke zusammengedrückt (Abb. 110). Hierbei ist es für den Versuch vorteilhaft, in das Rohr entsprechende Scheiben zu legen. Anrisse mit metallischem Grund werden dabei als Fehler angesehen. Die Erörterungen über die Kaltbiegeprobe sind uneingeschränkt anzuwenden. Auch hier kann nur die Rücksicht des Abnehmers die Lieferanten vor größeren Verlusten bewahren, da die zulässigen Grenzen in den meisten Vorschriften nicht genau angegeben sind.

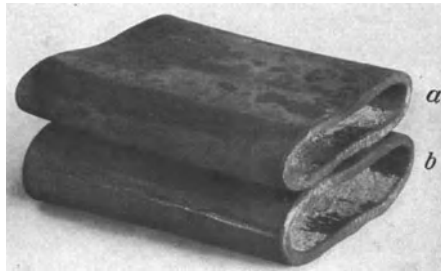


Abb. 110. Zwei Biegeversuche an Rohrstücken. *a* gelungener Versuch, *b* mißlungen infolge starker Seigerungsstreifen. Beide Probestücke aus demselben Rohr; jedoch ist die Seigerungsstelle in *a* nicht in die Zone der höchsten äußeren Zugbeanspruchung gelegt, sondern in die Zone der flachgedrückten Wand.

Die Rohrabschnitte sollen 100 mm bzw. 50 mm Länge haben. Kürzere Abschnitte dürften bei Rohren höherer Festigkeit an den Schnittflächen leichter zu Ribbildungen führen, sehr lange Rohrabschnitte dagegen auf Grund der Häufigkeit auf eine größere Anzahl von Materialfehlern an der Beanspruchungslinie treffen. Überhaupt vergesse man nicht, daß es sich bei diesen Versuchen um außergewöhnlich hohe Beanspruchungen quer zur Walzfaser handelt, die, wenn zufällig die am stärksten gezogene Faser irgendwelche Materialfehler aufweist, unbedingt zum Bruch führen.

Einige Abnahmevorschriften sehen auch Biegeproben mit gefüllten Rohren vor. Dann wird bei der Festsetzung des Biegungsradius Rohr-

Einige Abnahmevorschriften sehen auch Biegeproben mit gefüllten Rohren vor. Dann wird bei der Festsetzung des Biegungsradius Rohr-

durchmesser gleich Materialdicke angenommen, da auf der Zugseite die Rohrwandung entsprechend hohen Biegebeanspruchungen ausgesetzt ist. Die Rohre werden mit Sand, Zement oder Blei gefüllt. Einwandfreie Rohrbiegungen lassen sich nur mit Bleifüllung ausführen. Hier wird die Längsfaser hoch beansprucht, daher wird diese Probe für stumpf geschweißte Rohre verwendet.

### l) Die Kopfschlagbiegeprobe.

Ein fertiger Niet wird auf einen Amboß gelagert und durch einen kräftigen Hammerschlag auf den Kopf nach Abb. 111 flach geschlagen, so daß sich die nicht breit gedrückten Seiten des Kopfes wölben. Bei spröden Werkstoffen zeigt diese Wölbung Anbrüche. Alterung, Rekristallisation und Kaltbearbeitung sind zumeist die Ursache des Versagens dieser Probe; daher wird sie in den verschiedenen Abnahmevorschriften nur für fertige Niete bestimmt, deren Werkstoff durch die Verarbeitung verschlechtert sein kann.

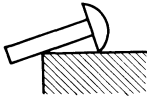


Abb. 111. Kopfschlagbiegeversuch an einem Niet.

### m) Warmbiegeprobe.

Da ein großer Teil der Baustoffe für Kessel und dampfführende Maschinenteile im Gebiet des sog. Blaubruchs beansprucht werden, haben einzelne Abnahmevorschriften die Warmbiegeprobe als Prüfungsbedingung aufgenommen. Normale Biegeprobestäbe werden am besten in einem Ölbad auf 200° erhitzt, um sie auf einen bestimmten Winkel, Radius oder eine Biegegröße ohne Bruch oder Anbruch zu biegen. Die Temperatur des Bades dient als Maß der Erwärmung. Hierbei ist zu beachten, daß der Versuch wegen schneller Abkühlung schnell ausgeführt werden muß. Ratsam ist es, durch eine entsprechende Wärmezugabe von 50° die beabsichtigten Prüfergebnisse sicherzustellen. Eine Durchwärmung auf die vorgeschriebene Temperatur kann nur bei einer Dauer von 20 Minuten unter zeitweiligem Umrühren des Öles erzielt werden. Biegebeanspruchungen im Gebiet höherer Temperaturen, wie sie in einzelnen Abnahmevorschriften gefordert werden, sind den Prüfungen auf Rotbruch gleichzustellen (Abschnitt 41, Abb. 181—183).

### n) Abschreckbiegeprobe (Härtungsbiegeprobe).

Gedacht ist eine Probe, die vor dem Versuch auf eine bestimmte Temperatur erhitzt und zumeist im Wasser von etwa 630° C abgeschreckt wird. Sie wurde von Prof. Baumann als rein empirische Probe aufgefaßt und zur Aufnahme in die Werkstoffvorschriften für Kessel empfohlen. Wenngleich die Abschreckbiegeprobe in allen Abnahmevorschriften Eingang gefunden hat, so ist sie nichtsdestoweniger viel umstritten und bekämpft. Ihre Gegner bezweifeln, daß Sondereigenschaften zu erkennen sind.



Je nach der Abschrecktemperatur dürfte das Probestück geringeren oder stärkeren Härtungsbeeinflussungen unterworfen sein. Als Temperaturen werden 550 bis 800° genannt. Da es sich jedoch in der Regel um weichere Werkstoffe handelt, wird ein Härten im metallographischen Sinne keineswegs erreicht; denn in einigen Fällen mag nicht einmal der untere Umwandlungspunkt überschritten werden, so daß eine der Benennung entsprechende Anwendung nur bei Stählen mit höheren Kohlenstoffgehalten denkbar ist.

Tatsächlich sind mit Überschreiten des unteren Umwandlungspunktes gewisse Veränderungen insbesondere im einzelnen Korn verbunden (Abb. 204, 205). Nach Abb. 216 werden sogar unterhalb der Perlitlinie geringere Veränderungen des Werkstoffes festgestellt, aber eine Abschreckwirkung wird nur im Rahmen der Abb. 205 erzielt. Stahl DIN 34 · 13 oder ähnliche Werkstoffe mit einem normalen Phosphorgehalt wird als Abschreckbiegeprobe nie versagen und diese sich daher erübrigen. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt werden diese Prüfungen jedoch nicht selten ein Kriterium für die Brauchbarkeit geben.

Bei der Einführung der Härtebiegeprobe schwebte ihren Befürwortern die Möglichkeit vor, daß Teile bei der Warmverarbeitung eine dem Abschrecken ähnliche Abkühlung erfahren könnten und dann im Betriebe zu Bruch gehen müßten. Auch die Abkühlung unter Feuer stehenden, wasserlosen Kessels infolge Einströmens kalten Wassers hätte bei abschreckempfindlichem Werkstoff ähnliche Folgen. Alle diese Argumente behalten in gewissem Grade ihre Gültigkeit auch bei weichen Stahlorten, wenn kein anderer Gütemaßstab anzulegen ist, da Stähle höheren Kohlenstoffgehaltes nicht im Feuer liegen dürfen.

### o) Schlagbiegeprobe.

Die Schlagbiegeversuche werden auf den sog. Fallwerken, die meist einheitlich konstruiert sind, ausgeführt. Man könnte sie in zwei Gruppen einteilen, nämlich solche, die zur Prüfung von vorbereiteten Schlagbiegeproben dienen, und solche, auf denen ganze Werkstücke Schlagbiegebeanspruchungen ausgesetzt werden.

Fallwerke müssen schon deshalb in konstruktiven Einzelheiten übereinstimmen, weil sonst keine Möglichkeit des Vergleiches vorhanden ist. Abgesehen von Einzelheiten und besonderer Präzision ähneln sie den Schmiedefallhämmern. In Abb. 112 ist das Fallwerk der Deutschen Reichsmarine dargestellt. Es wird mit einem 200 kg schweren Bären *a* und einer Fallhöhe *M* von etwa 2 m betrieben. Die gut fundierte Schabotte *b* besteht aus einem schweren Gußeisenklotz vom zehnfachen Gewicht des Fallbären. Auf der Schabotte stehen Auflagerungsunterlagen, die dem Probekörper zwar nicht die freie Bewegung nehmen, ihn aber zwingen, in der richtigen Stellung zum Bären zu verbleiben. Der stählerne Bär mit einer bestimmten Abrundung, der eine

gehärtete Schlagfläche haben muß, bewegt sich zwischen zwei U-Eisenbahnschienen und wird seitlich geführt. Eine Auslösevorrichtung, die durch ein Seil oder eine Kette betätigt wird, läßt den Bär aus der vorgeschriebenen Höhe auf das Probestück herunterfallen. Das Seil der Auslösevorrichtung wird über Führungsrollen auf eine Winde herabgeführt. Zum Ablesen einer bestimmten Höhe wird eine Meßplatte auf der Vorderseite einer Schiene befestigt.

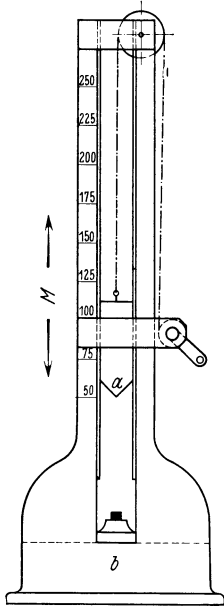


Abb. 112. Fallhammer für Schlagbiegeproben (schematisch).

Die Ergebnisse des Schlagbiegeversuchs sind sehr starken Beeinflussungen unterworfen. Die Schienenführung ist häufig mit Graphit zu schmieren, da sonst durch die seitliche Reibung ein Teil der Schlagarbeit aufgezehrt wird. Ebenso werden die Ergebnisse auch dann zu hoch gefunden, wenn der Bär zwischen den Führungen zu eng läuft, so daß Reibung zu überwinden ist. Ist das Fundament der Schabotte sehr elastisch, so daß es die Bewegungen und Erschütterungen nicht verbraucht, werden Vergleiche unmöglich. Damit der Schwerpunkt des Fallbären möglichst tief liegt, wird empfohlen, das Verhältnis der Führungslänge des Bären zur Lichtweite zwischen den Führungen größer als 2:1 zu wählen.

Das Versuchsergebnis setzt sich aus den Faktoren Bärsgewicht und Fallhöhe zusammen und wird in kgm ausgedrückt.

Da sich die Fallwerke nach den verschiedenen Vorschriften bezüglich Fallhöhe und Bärsgewicht unterscheiden, treten bei der Abnahme gewisse Schwierigkeiten auf, wenn man mit einer Konstruktion auszukommen sucht. Wenngleich jeder

Abnehmer die Umrechnungsmöglichkeit (Bärsgewicht, Fallhöhe) anerkennt, so bleibt für ihn doch die Fallgeschwindigkeit zwischen großen Höhenunterschieden unbestimmbar und er wird daher nicht immer geneigt sein, jedes Fallwerk anzuerkennen.

An vorgearbeiteten Proben werden hauptsächlich solche aus hochbeanspruchtem Stahlformguß für die Schlagbiegeprüfung entnommen. Die Schlagbeanspruchung ist meist doppelseitig: also eine bestimmte Anzahl Schläge auf der einen und dann auf der anderen Seite. Hierbei gilt der Versuch als abgeschlossen, wenn die Probe einen Anbruch zeigt.

Schlagbiegeversuche mit ganzen Werkstücken werden auf Fallwerken größeren Ausmaßes vorgenommen. Zu solchen Werkstücken gehören hochwertige Schmiedestücke wie Wagen und Lokomotivachsen, Bandagen für Lokomotivräder und Kuppelungsteile. Die Versuchsergebnisse werden bei wesentlichen Änderungen der Schlagstelle erheblich

günstig beeinflußt, so daß das Werkstück an verschiedenen Stellen Hauptbiegungen erfährt.

Da es sich bei diesen Versuchen um härtere Werkstoffe handelt, kann man die Schlagbiegeergebnisse als eine Funktion der Wärmebehandlung ansehen.

## 24. Der Stauchversuch.

Die theoretischen Grundlagen des Stauchens sind außerordentlich kompliziert. Gerade im kalten bzw. abgeschreckten Zustande des Stauchkörpers nimmt die Schwierigkeit vieler Fragen zu. Hierzu gehört vor allem die durch Ätzung nachweisbare Preßflächenreibung, durch welche die Spannung im Stauchkörper ungleichmäßig verteilt wird. E. Siebel und A. Pomp haben durch das von ihnen ausgebildete Kegelstauchverfahren die Mängel zu beheben gewußt, indem sie die Stauchprobe nicht zylindrisch, sondern an beiden Enden kegelförmig ausbildeten. So wurde beim Stauchvorgang erreicht, daß die Spannung sich gleichmäßig verteilte und die gestauchte Probe nicht tonnenförmige, sondern zylindrische Gestalt annahm. Immerhin hat sich die Kegelstauchprobe als offizielle Abnahmeprobe noch nicht durchzusetzen vermocht.

Von der Verwendung der üblichen Stauchprobe machen die Abnahmevorschriften allerdings reichlichen Gebrauch. Sie ziehen sie nicht nur dann als technologische Probe heran, wenn ein weicherer Werkstoff bei seiner späteren Verarbeitung dem Stauchvorgang ähnlichen Verformungsvorgängen ausgesetzt ist, sondern auch dann, wenn es auf die allgemeine Beurteilung der Reinheit des Werkstoffes ankommt.

Die Abmessungen der Stauchprobe können nicht beliebig genommen werden; denn bei zu hohen Proben besteht die Gefahr der Verkrümmung und Umknickung, bei zu kurzen wird der Stauchvorgang und sein Ergebnis zu unübersichtlich. Alle Abnahmevorschriften haben daher eine bewährte Abmessung des Stauchzylinders, nämlich doppelte Höhe des Durchmessers, gewählt. Als Maß gilt zumeist bei Warmstauchung eine Stauchung auf  $\frac{1}{3}$  bei Kalt-, bzw. auf  $\frac{2}{3}$  der ursprünglichen Länge bei Abschreckstauchung. Als Temperatur wird für Warmstauchung Rotglut, für Abschreck- bzw. Härtestauchung 600 bis 800° angegeben. Hierzu sei gesagt, daß bei Werkstoffen bis etwa 45 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit aus den genannten Temperaturen abgeschreckte Stauchproben nie versagen, wenn nicht durch andere Faktoren der Versuch mißlingt. Bei Festigkeiten über 45 kg/mm<sup>2</sup> wird die Abschreckwirkung über 650° Erwärmung so stark werden, daß die Abschreckstauchprobe nicht mehr bedingungsgemäß sein kann. Das Probestück wird wie ein spröder Stoff (Gußeisen) in Rutschkegeln schräg zerspringen. Es sei aber darauf aufmerksam gemacht, daß die meisten Versuche dieser Art nicht auf genauer Innehaltung der Stauchtemperaturen beruhen, sondern je nach der Werkstattbelichtung und der persönlichen Ansicht der Beteiligten auf mannigfaltige vorschrifts-

widrige Temperaturen. Ohne gewissenhafte Temperaturmessung mit Hilfe zuverlässiger Wärmemesser sollten Stauchversuche an härteren Flußstahlsorten nicht ausgeführt werden.

Die Temperaturmessung selbst muß mit großer Sorgfalt durchgeführt werden, sonst kann sie vergeblich sein, ja sogar schädlich werden. So wurde bei der Abnahme beobachtet, daß der mit der Glühung Beauftragte die



Abb. 113. Warmstauchversuche an Stahl 38 · 13 verschiedenen Durchmessers. Dabei zeigt *a* geringe ausgerundete Furchen, die nur nachweislich von Oberflächenriefen herrühren, *b* flache ausgerundete und scharfe tiefe Risse, letztere müssen, da ebenso wie bei *c* die Schwefelseigerungen austreten, auf Rotbruch zurückgeführt werden, *d*, *e*, *f* zeigen außerordentlich scharfe, aber geringe Anrisse, die auf kleine Schlackenstellen, die zufällig an der Außenhaut liegen, zurückzuführen sind.

Probestücke dicht an- und übereinander legte, während das Pyrometer allseitig der Flamme ausgesetzt war. Selbstverständlich hatte das Pyrometer schon lange die gewünschte Temperatur überschritten, als die Probenmasse erheblich darunter lag. Ebenso mag es umgekehrt vorkommen, daß die Glühflamme die Proben bestreicht, während das Pyrometer von einer toten Ecke des Glühofens her unrichtige Temperaturen anzeigt. Diese Tatsachen sind um so bemerkenswerter, weil bei diesen niedrigen Abschrecktemperaturen das Augenmaß für Glühfarben unsicher wird.

Viel verwickelter jedoch liegen die Ursachen für die bei Warm- und Abschreckstauchproben auftretenden Risse, die nicht — wie jene durch Beanspruchung eines Härtegefüges hervorgerufenen Schrägbrüche — als Rutschkegeln tief in das Innere eines gestauchten Körpers verlaufen, sondern axial mehr oder weniger tiefe Furchen bilden. Fast alle Abnahmenvorschriften haben auch hierfür den Ausdruck „Anbrüche“ oder „Anrisse“

geprägt. Man kann ohne Schwierigkeit durch den metallographischen Befund nachweisen, ob diese „Risse“ eine Folge von Walz- und Ziehriefen darstellen. Aber auch ein geübtes unbewaffnetes Auge wird diese am Grunde sehr flach ausgerundeten Längsfurchen von jenen schmälern und scharf auslaufenden Rissen unterscheiden (Abb. 113 *a*, *b*, *c*, *d*, *e* und *f*). Jene können natürlich nicht zur Beurteilung der Werkstoffqualität herangezogen werden, sondern bestenfalls mangelhafte Verarbeitung beweisen.

Treten durch Walzen und Ziehen zusammengepreßte Gasblasen, Lunker und Schlackenzeilen als Werkstofffehler in der äußeren Zone auf, dann werden Stauchproben niemals bedingungsgemäß sein (Abb. 114*b*). Auch eine ausgeprägte Kernseigerung, wie sie sich bei kohlenstoffarmen Stählen durch die Baumannprobe nachweisen läßt (Abb. 275), wird, wenn sie durch Abdrehen der seigerungsfreien Zone oder durch einseitiges Auswalzen oder Ziehen freigelegt wird, den Stauchbeanspruchungen nicht standhalten (Abb. 114*b*).

Die Stauchprobe wird nicht nur an Niet- und Schraubwerkstoffen (Eisen- und Nicht-eisenmetalle) vorgenommen, sondern man findet hie und da auch die Forderung des Stauchversuchs an Rohren. Ein Rohrende von der doppelten Länge des Durchmessers wird wie Abb. 115 zu Falten gestaucht. Da das Rohrende bei diesem Versuch nach innen und außen, quer und längs zur Walzfaser beansprucht wird, dürfte die Probe von außergewöhnlicher Vielseitigkeit sein und alle übrigen technologischen Versuche an Rohren übertreffen.

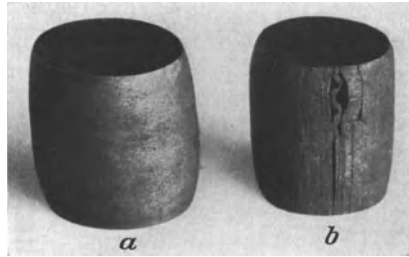


Abb. 114. Abschreckstauchversuch. *a* gelungener Versuch, ohne Risse, *b* Versagen der Probe nicht infolge Härtung, sondern infolge von an der Haut liegenden, zu Fäden ausgezogenen Phosphoranreicherungen (Kaltbruch), die sich an den nicht gut verschweißten Flächen von zusammengepreßten Gasblasen fanden (Abb. 97).

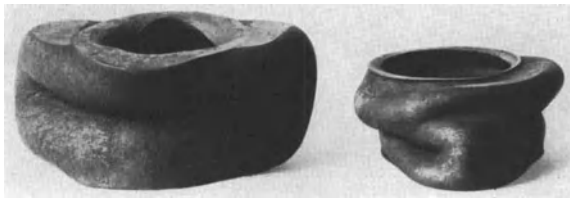


Abb. 115. Rohrstauchversuch an dünnwandigen Kupferrohrenden.

## 25. Schmiedeproben.

Unter Schmiedeproben kann man alle diejenigen technologischen Versuche zusammenfassen, die in rotwarmem Zustande des Probestückes durch Verschmiedung oder sonstige Verformung ausgeführt werden. Ihre Berechtigung beruht auf der Kenntnis des verschiedenen Verhaltens der Werkstoffe bei der Warmverarbeitung. Wie in Abschnitt 49 erörtert, wird ein Werkstoff unter gewissen chemischen Einflüssen an dem von ihm zu erwartenden Warmverformungsvermögen stark behindert. Diese Behinderung wächst zumeist mit dem Verformungsgrad, der deswegen für

die verschiedenen Schmiedeproben zahlenmäßig bestimmt worden ist. Am häufigsten angewandt wird

### a) Die Lochprobe.

Ein weicher Werkstoff muß sich durch einen Dorn von vorgeschriebenen Abmessungen in bestimmtem Abstand vom Proberand in rotwarmem Zustand ohne aufzureißen lochen lassen. Da das Gelingen des Versuches auch von rein äußeren Umständen abhängig ist, müssen für den konischen Teil des Dornes bestimmte Abmessungen innegehalten werden. So werden bestimmte Formen genannt: bei 50 mm Länge des konischen Teiles sei der kleinste Durchmesser etwa 10 mm, der größte 20 mm, oder der kleinste Durchmesser sei das 0,5, der größte das 0,75fache des zu prüfenden Stangendurchmessers. Der Abstand des Lochrandes vom Proberand soll bei Blechprobestücken die halbe Dicke des Probestückes betragen. Die Lochprobe für fertige Niete ist so auszuführen, daß der Lochdurchmesser  $d$  eines breitgeschlagenen Nietschaftes gleich dem Nietdurchmesser  $d$  ist (Abb. 116). Häufig

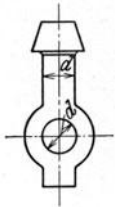


Abb. 116.  
Warmlochver-  
such an einem  
Nietschaft.

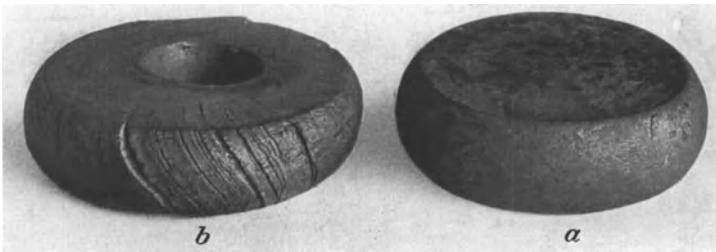


Abb. 117. Gelungener Warmstauchversuch an einem Rundeisen St. 38.13: *a* Versuch gelungen, *b* Stauchlochversuch mißlungen, da Stauchprobe infolge Schlackeneinschlüsse aufriß und durch Warmlochung die Risse vertieft.

werden auch Warmstauchproben mit Lochprobe an demselben Probestück vorgenommen, dann wird ein Nietschaft etwa auf  $\frac{1}{3}$  seiner ursprünglichen Länge zusammengestaucht und darauf mit einem konischen Dorn so durchlocht, daß der Durchmesser des Loches gleich dem Nietdurchmesser ist (Abb. 117 *b*). Daß solche Versuche eine größere Anstrengung für jeden Baustoff bedeuten als die gewöhnlichen Stauchproben, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß durch das Stauchen hervorgerufene geringste Anrisse bei der weiteren Ausdehnung der Außenfaser der Probe erheblich erweitert und vertieft werden. Die Durchführung des Stauchlochversuches an Nietschaften in einer Erwärmung, wie dies häufig beobachtet wird, ist wegen des Wärmeverlustes nicht mehr sinngemäß als Schmiedeprobe zu bezeichnen.

Es ist daher für die beiden aufeinanderfolgenden Versuche (insbesondere bei geringeren Probeabmessungen) je eine Erwärmung vorzunehmen.

Desgleichen verlangt auch der Lochversuch nach Abb. 116 nicht nur die genaue Beachtung der Vorschrift über die Lochweite gegenüber dem Nietschaftdurchmesser, sondern auch über den Abstand vom Schaftende. Dieser sollte etwa der Lochweite entsprechen, da bei erheblich geringerem Abstand ein Aufreißen unausbleiblich ist.

### b) Die Warmkopfschlagprobe.

Hierbei müssen sich Nietköpfe in rotwarmem Zustand nach Abb. 118 auf eine Höhe von  $\frac{1}{5}$  des Nietstangendurchmessers flach schlagen lassen. Dieser Versuch wird sich ohne Rißbildung auch sogar noch ohne Erwärmung durchführen lassen, wenn nicht die Seigerungszone am Rande des Nietkopfes austritt oder der Werkstoff an sich rotbrüchig ist (Abschnitt 41).

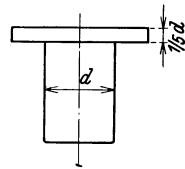


Abb. 118. Warmkopfschlagprobe.

### c) Die Ausbreitprobe.

Ohne sich an bestimmte Arbeitsvorgänge anzulehnen, bezeugt die Ausbreitprobe nur, daß ein Werkstoff eine vorgeschriebene Durchschmiedung verträgt. Die Ausbreitprobe findet sich daher nur noch vereinzelt in den Abnahmevorschriften und wird z. B. nach der D.V.M. folgendermaßen durchgeführt: Parallel zur Walzrichtung geschnittene Probestäbe von einer Breite gleich der dreifachen Blechdicke und etwa 400 mm Länge werden in rotwarmem Zustande mit einem Handhammer oder einem schnell arbeitenden Hammerwerk quer zur Walzrichtung auf  $1\frac{1}{2}$ -fachen Betrag ihrer Breite ausgebreitet, ohne daß sich das Material trennt. Die Hammerfinne soll mit 15 mm Radius abgerundet sein. Tatsächlich bedeutet dieser Versuch nichts anderes als die in Abschnitt 41 geschilderte Rotbruchprobe. Dasselbe gilt von der

### d) Hörndelprobe.

Sie wird als Abnahmeversuch nur noch gelegentlich zur Ergänzung einer anderen Probe verwendet.

### e) Aufweitprobe (Aufdornprobe).

Einer Aufweitprobe können sinngemäß nur Rohre, rohrähnliche Körper oder gebohrte Werkstücke (Muttern) unterzogen werden. Sie hat sich in in- und ausländischen Bestimmungen dank der Einfachheit ihrer Durchführung und der Zuverlässigkeit bei der Aufdeckung bestimmter Eigenschaften eingebürgert. Die Aufweitprobe wird in der Weise vollzogen, daß ein kegeliger Dorn mit zylindrischer Fortsetzung

von vorgeschriebenem Durchmesser in ein Rohrende soweit hineingetrieben wird, bis auch sein zylindrischer Teil noch etwa 30 mm in das aufgeweitete Rohr eindringt. Der gewählte Dorn muß dabei solchen Durchmesser aufweisen, daß bei dem Versuch etwa folgende Aufweitungen in Prozent erreicht werden:

Rohrwerkstoff	Wanddicke bis 4 mm	Wanddicke über 4 mm
35 bis 45 kg/mm <sup>2</sup>	10	6
45 bis 55 „	8	5

Als Kriterium der Brauchbarkeit eines durch die Aufweitprobe geprüften Werkstoffes gilt die Tatsache, daß die Wandung des Prüflings nicht durchreißt oder anreißt. Ein gewisser Vorzug ist in dieser Prüfmethode darin zu erblicken, daß dieselbe



Abb. 119. Aufweit- und Bördelversuche an Flußstahlrohrenden. *a* Aufweitung und Bördelung bedingungsgemäß, *b* Aufweitprobe versagte infolge eines durch einen erheblichen Teil des Rohres durchgehenden Seigerungsfadens. Die Bördelung hat diese Fehlstelle zu verdecken vermocht (s. auch Abb. 122).

100 mm lange Probe als trennende Bestandteile, an der Beanspruchungskante beginnend, den Prüfling durchziehen (Abb. 119*a*). Als weitere das Versuchsergebnis wesentlich beeinträchtigenden Einflüsse sind unrichtige oder ungenügende Glühbehandlung, Rekristallisation, Alterung, zu hoher Kohlenstoff und Phosphor zu nennen. Sind die Ränder nicht glatt bearbeitet, so daß dadurch schiefe Sägeschnitte oder dergleichen Kerben entstehen, dann dürften nicht gut zu machende Wirkungen aus unkontrollierbaren Ursachen die Folge sein. Zur Vermeidung hoher Reibungsbeanspruchungen sollte der Dorn genügend eingefettet sein.

Die Rohraufweitprobe wird durch die Ringprobe erheblich verschärft, da ihre Breite nur einen 15 mm breiten Rohrabchnitt (mindestens jedoch die doppelte Wanddicke) ausmacht; hierbei werden Werkstoffverunreinigungen auch geringeren Ausmaßes die schmale Rohrwandung

Diesen für die Bauvorschriften für Landdampfkessel geltenden Werkstoffbedingungen ähneln eine Anzahl andere Abnahmevorschriften, welche die Aufweitprobe als Abnahmeprobe vorgesehen haben.

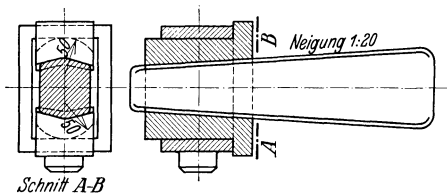
Unsicherheit wie bei der Biege- und Stauchprobe bezüglich der Fehlererkennbarkeit keineswegs besteht. Etwaige Risse markieren sich eindeutig genug, um sie objektiv auszuwerten. In der Regel wird diese Probe nur bis 140 mm Rohrweite ausgeführt.

Da es sich um hohe einseitige Beanspruchungen längs der Faser eines gezogenen oder gewalzten Hohlkörperteiles handelt, sind Versager stets zu erwarten, wenn stark ausgeprägte Schlackenzeilen, Überwalzungen oder zusammengepreßte Gasblasen ganz oder teilweise die ganze etwa



frühzeitig aufreißen. Die Ringe werden durch einen konischen Dorn mit einer Steigung 1 : 10 auf das 1,1fache der Lichtweite aufgeweitet. Darüber hinaus wird dieser Versuch bis zum Bruch fortgesetzt. Kontraktion und Bruchaussehen sind dabei äußere Kennzeichen der Qualität und müssen einer Zugprobe desselben Werkstoffes ähnlich sein. Kristallinisches, kontraktionsloses Zerreißen beweist mangelhafte Wärmebehandlung oder Kerbwirkung. Um letztere bei diesen kerbempfindlichen Proben auszuschalten, sind die Schnittflächen parallel zu bearbeiten und die Kanten leicht zu brechen.

Zu den Aufweitproben im weiteren Sinne gehört die Aufornprobe für Muttern. Fertige Muttern, soweit ihr Werkstoff nicht oder ungenügend geprüft werden konnte, werden mittels eines konischen Dornes von bestimmter Steigung um einen vorgeschriebenen Prozentsatz des inneren



Schnitt A-B

Abb. 120. Aufweitversuch für Federbunde.



Abb. 120a. Aufweitversuch an Zughaken.

Gewindedurchmessers aufgeweitet; zumeist um  $\frac{1}{10}$  des ursprünglichen Durchmessers. Die einen unbrauchbaren Werkstoff kennzeichnenden Ribbildungen pflegen nur an Muttern aus blankgezogenen aber ungeglühten Stangen aufzutreten. Auch durch Rekristallisation grobkristallinisches und gealtertes Material verträgt eine Aufweitung nicht.

Wegen der Bedeutung der Federbunde für hochbeanspruchte Blattfedern werden eine geringe Anzahl einem ihrer Beanspruchung ähnlichen Aufweitversuch unterworfen. Die bekannteste hierzu verwendete Einrichtung ist in Abb. 120 wiedergegeben. Der eingefettete Dorn wird unter einem Hammer oder Presse soweit durch die Bunde getrieben, bis sie sich um 10% ihrer ursprünglichen Höhe aufgeweitet haben. Anbrüche und Risse, die als Nachweis mangelhafter Werkstoffgüte angesehen werden, haben nicht selten als Ursache unregelmäßige und raue Oberflächenbearbeitung. Die Beobachtung lehrt auch, daß Federbunde — von gezogenen Vierkantrohren geschnitten — aus leicht erklärlichen Gründen gegen Aufweitung widerstandsfähiger sind als die aus dem vollen Material herausgearbeiteten.

Als Aufweitprobe mit bestimmter zahlenmäßig festgelegter Belastung gilt auch die Zughakenmaulaufweitung. Ein nach Abb. 120 a angefertigter konischer Dorn, im Verhältnis 1 : 10 verjüngt, soll so in das Maul eingesetzt werden, daß der untere Teil der Zughakenöffnung stark beansprucht wird. Zum dynamischen Einpressen des Dornes

wird ein Fallhammer, wie auf S. 112 dargestellt, verwendet. Als Schlagmoment sind 200 kgm vorgesehen. Bei der für die D.R.G. üblichen Hakenabmessung ist eine Aufweitung von 55 mm gefordert. Ein anderer Aufweitversuch ist der für Bügel- und Laschenaugen der Lokomotivkuppelungen. Der Dorn hat hier kreisförmigen Querschnitt mit einer Steigung 1 : 10. Schlagmoment gleichfalls 200 kgm.

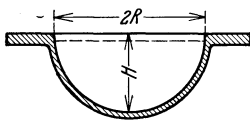


Abb. 121. Polterprobe für Bleche.

Ferner kann man als Aufweitprobe im weiteren Sinne die in einigen Abnahmebedingungen vorgeschriebene Sickenprobe für Kondensatorrohre bezeichnen. An ausgeglühten Rohrenden soll sich eine Sicke von bestimmter Breite und Höhe von innen nach außen eindringen lassen. Die Sicke darf keine äußeren Anrisse oder Unganzenheiten hinterlassen.

Ebenso wird auch die sog. Polterprobe für dünnwandige Bleche als Aufweitung verstanden. Aus einem Stück Blech muß sich nach Abb. 121 eine Kugelhaube von bestimmtem Durchmesser und bestimmter Höhe ohne Rißbildung treiben lassen. Nach Bedingung der D.R.M. wird dabei wie folgt verfahren:

Zahlentafel 7.

Werkstoff	Behandlung	Durchmesser ( $2R$ ) der Kugelhaube	Höhe ( $H$ ) der Kugelhaube
Kupfer . . . . .	ungeglüht	40 mm	20 mm
Messing und andere Kupfer- legierungen . . . . .	geglüht	25 mal Blechedicke	12,5 mal Blechedicke

## 26. Die Bördelprobe.

Die Bördelprobe ist ein Kaltverformungsversuch an flußstählernen Rohren, der einem bekannten Bearbeitungsvorgang an Rohrenden entspricht. Da man sein Versagen auch an fertigen Kesseln bei der Abnahme- und Bauprüfung ohne Schwierigkeit feststellen kann, könnte man auf eine besondere Prüfung verzichten, wollte man nicht von vorneherein zur Vermeidung späterer Unkosten durch Auswechslung solchen Werkstoff ausmerzen, der das Umbördeln nicht verträgt (Abb. 119 und 122).

Analog der Kaltverformung (Abschnitt 45) läßt sich sagen, daß mit steigendem Kohlenstoff- und Siliziumgehalt die Bördelungsfähigkeit der Stähle abnimmt. Ausgeglühte Kupfer- und Messingrohre haben infolge der außerordentlich hohen Zähigkeit dieser Werkstoffe ein hohes Bördelungsvermögen, das aber entsprechend vermindert wird, wenn Legierungszusätze die Festigkeit erhöhen.

Mit dem Grad der Kaltverformung bzw. der Bördelung nimmt naturgemäß die Sprödigkeit zu, so daß bei hoher Bördelungsbeanspruchung auch der zähste Werkstoff, das Kupfer, am Bördelungsrand einreißt. Es ist daher leicht erklärlich, daß das Maß der Bördelung in den Abnahmevorschriften genau festgelegt ist. Die Schnittkanten sind deshalb leicht abzurunden, weil sonst durch etwaige Rauheiten unübersichtliche Korbbeanspruchungen beim Versuch auftreten. Selbstverständlich dürfte es sein, daß nur mit einwandfreien Bördelwerkzeugen umgebördelt wird.

Ist das Ergebnis des Bördelversuchs für die Abnahme von ausschlaggebender Bedeutung, so werden in manchen Vorschriften über die Durchführung genaue, zahlenmäßige Angaben gemacht. Die „Werkstoff- und Bauvorschriften . . . .“ sagen: Die Rohrenden müssen sich in einer Bördelbreite (gemeint ist der Bördelungsrand, der vom Rohr abgebogen wird), die, innen gemessen, mindestens das  $1\frac{1}{2}$ -fache der Wanddicke und nicht weniger als 12% des Innendurchmessers beträgt, kalt um  $90^\circ$  umbördeln lassen, ohne Risse zu zeigen. Die neuen Werkstoffvorschriften für Rohre begnügen sich bei legierten Flußstahlsorten mit einer Bördelung um  $60^\circ$ . Der Germanische Lloyd schlägt in seinen Grundsätzen vor: Der Versuch ist nur bei Rohren bis 140 mm Außendurchmesser und nur bei einer Wanddicke

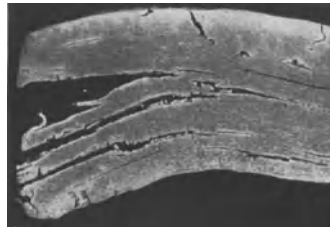


Abb. 122. Beim Bördeln entstandene Aufblätterung, die auf ein mit inneren Fehlern stark behaftetes Material schließen läßt.  $\times 10$ .

bis zu 13% des Außendurchmessers	bei Rohren bis 60 mm Außendurchmesser
„ „ 12% „ „	„ „ „ 89 „ „
„ „ 8% „ „	„ „ „ 108 „ „
„ „ 6% „ „	„ „ „ 140 „ „

vorzunehmen.

Die Rohrabchnitte sind an den Rändern nach außen um 80% bei einer Bördelbreite gleich dem  $1\frac{1}{2}$ -fachen der Wanddicke und nicht weniger als 12% des inneren Rohrdurchmessers von innen gemessen kalt umzubördeln und dürfen hierbei keine Risse zeigen.

Für Kupfer- und Messingrohre schreibt die D.K.M. folgende Ergebnisse vor:

Wie bei allen Versuchen, so ist auch bei der Bördelprobe das Gelingen von dem Gefüge-

zustand und Reinheitsgrad eines Werkstoffes abhängig. Unrichtige und ungenügende Warmbehandlung vermindert ebenso das Bördelungs-

Zahlentafel 8.

Lichter Rohrdurchmesser mm	Breite des Bördels in Millimetern für Rohre aus	
	Messing	Kupfer
unter 20	7,5	10,0
20—49	10,0	15,0
50—149	15,0	25,0
150 u. darüber	20,0	30,0

vermögen wie ausgeprägte Rekristallisation. Stark geseigerte flußstählerne Rohre lassen sich ebenso schlecht umbördeln wie oxydulhaltige Kupfer- und Messingrohre. Auch Ziehriefen, Blasen-, Sand- und Schlackenstellen werden häufig weitere radial verlaufende Risse des Bördelungsrandes verursachen.

## 27. Die Fallprobe (Erschütterungsprobe).

Einen Stahlgußteile recht hoch beanspruchenden Versuch stellt die noch in die neueren Vorschriften aufgenommene Fallprobe dar. Die verschiedenen Vorschriften weichen zwar in ihren Angaben etwas voneinander ab, stimmen aber alle darin überein, daß große Stahlgußstücke stehend aus einer Neigung von  $45^\circ$  auf harten Boden umfallen, dagegen kleinere aus einer Höhe von 2 bis  $3\frac{1}{2}$  m flach auftreffen sollen. Dieser Versuch mag unzweifelhaft dazu geeignet sein, schon eingerissene Stücke weiter einzureißen oder zum völligen Zerbersten zu bringen, um so den schon vorhandenen Fehler sichtbar zu machen.

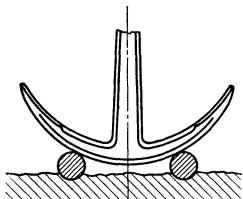


Abb. 123. Fallprobe. Schematische Darstellung der Lage eines Ankers auf den stählernen, in Mauerwerk eingebetteten Unterlagen.

Es wird aber durch diesen Versuch nicht möglich sein, gültige Kennzeichen einer Werkstoffqualität zu gewinnen. Sind die Erzeugnisse eines Stahlwerkes dem Abnehmer bekannt, so wird er zumeist von diesem wenig aussagenden Versuch absehen.

Von tatsächlicher Bedeutung ist der Fallversuch für Stahlgußanker, da er die Betriebsbeanspruchungen z. B. eines Schiffsankers nachahmen will und sich auf zahlenmäßige Angaben der Versuchsbedingungen bezieht, die eine exakte Differenzierung der Versuchsergebnisse gestatten (Abb. 123). Obgleich es sich hier um Sonderabnahmen bei nur wenigen Herstellungsfirmen handelt, so seien der Vollständigkeit halber typische Abnahmebedingungen des Germanischen Lloyd, denen die Bedingungen anderer Klassifikationsgesellschaften ähneln, wiedergegeben. Besteht der Anker aus mehreren Stücken, so ist jedes Stück, im anderen

Fall der ganze Anker, auf eine aus Eisen oder Stahl hergestellte Unterlage fallen zu lassen, und zwar aus nebenstehenden auf das Gewicht bezogenen Höhen.

Diese Unterlage soll 10 cm dick sein und auf Mauerwerk von 1 m Höhe ruhen.

Ist der Anker von gewöhnlicher Form, so ist er ein zweites Mal vertikal mit der Krone nach unten bis zu der oben vorgeschriebenen Höhe zu heben und auf zwei eiserne

Zahlentafel 9.

Gewicht in kg	Fallhöhe in m
unter 750	4,5
750 und „ 1500	4,0
1500 „ „ 5000	3,5
5000 „ darüber	3,0

oder stählerne Blöcke so fallen zu lassen, daß jeder Arm des Ankers annähernd in seiner Mitte aufschlägt.

Die Fallhöhe ist immer von der Unterkante des Ankers bzw. des Ankerteils zu messen. Falls die Unterlage vom Anker durchschlagen wird, ist sie durch eine neue zu ersetzen und die Probe zu wiederholen.

Im Anschluß an die Fallprobe wird an dem Werkstück noch die Klangprobe vorgenommen.

## 28. Die Klangprobe.

Eine für Stahlformguß in vielen Vorschriften allbekannte Prüfung ist der Klangversuch. Man bringt fertig geputzte Werkstücke in freischwebende Lage und schlägt sie an möglichst vielen Stellen mit einem Hammer an. Der Klang fehlerloser Stücke soll klar und ohne Nebengeräusche sein. Rissige Teile klirren, stark lunkrige klingen dumpf. Diese an sich behelfsmäßige Prüfung mag zur allgemeinen Orientierung gut sein, sie erscheint aber als Kriterium der Brauchbarkeit eines Werkstoffes ungeeignet, da zu viel äußere Umstände und subjektives Empfinden das Ergebnis beeinflussen. So können z. B. weitgehende Risse, die von außen nach innen gehen, leichter entdeckt werden als solche von innen nach außen. Ein Unterscheiden zwischen einem klaren und dumpfen Klang ist nicht immer möglich, weil Haltevorrichtung, Gußhaut, Späne und dergleichen den Klang beeinflussen. Zweifelhaft wird auch dann das Ergebnis, wenn ungeeignete Mittel zur Aufhängung der Stücke Verwendung finden.

Hierher gehört auch die Klangprobe für Bleche. Wird ein Blech horizontal aufgehängt und auf Klang geprüft, dann läßt sich dieser Versuch bei negativem Ausfall durch Aufstreuen von Sand auf die ganze Blechplatte ergänzen. Schnell beim leichten Anschlagen mit einem Hammer gegen die Unterseite der Sand über der angeschlagenen Stelle nicht hoch, dann sind Doppelungen oder sonstige Fehler an diesen Stellen zu vermuten.

## 29. Die Druckprobe.

Eine der wichtigsten und gleichzeitig häufig angewendeten Abnahmeprüfungen ist die Druckprobe. Ihr werden alle Rohre, Vierkantrohre, Ventile, Dampfsammler, Zylinder, Kessel, Behälter zum Aufbewahren verdichteter Gase u. a. unterworfen. Im allgemeinen wird ein innerer Druck gewählt, der höher ist als der Gebrauchsdruck. Häufig dient die Füllung der Hohlkörper auch nur dazu, die Dichtheit nachzuweisen.

### Die Wasserdruckprobe.

Wegen der Einfachheit und Ungefährlichkeit der Handhabung hat sie bei der Abnahme die größte Verbreitung gefunden. Mit Hilfe eines

geeigneten Manometers werden die vorgeschriebenen Drücke gemessen. Wichtig ist dabei die vollkommene Dichtung an den Rohrenden oder Gefäßöffnungen. Die Prüfstücke müssen nach vorherigem Trockenblasen bei kürzerem oder längerem Verbleiben auf der gewünschten Druckstufe trocken bleiben. Heraustreten von Wasserperlen oder auch nur geringes „Schwitzen“ sind als Nachweis der Undichtheit durch Poren oder Risse aufzufassen. Zumeist pflegen jedoch solche äußerst

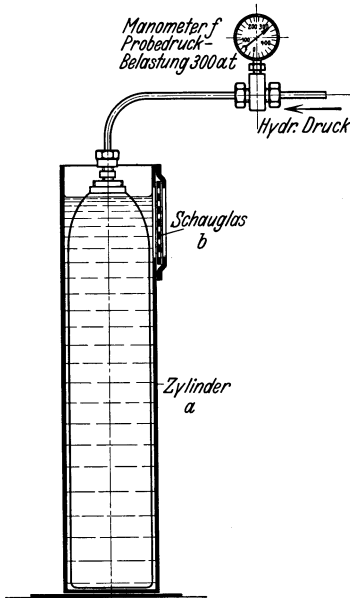


Abb. 124. Wasserdruckprobe zur Feststellung der Ausdehnung von Gasbehältern bei Innendruck.

kleinen Öffnungen in kurzer Zeit infolge des Zurostens oder Verstopfens sich selbst zu schließen. Abklopfen von Rohren läßt nicht selten neue Undichtheiten entstehen, weshalb diese Maßnahme bei bestimmten Hohlkörpern empfohlen wird. Wird nichts anderes vorgeschrieben, dann soll der innere Druck dem doppelten des höchsten Gebrauchsdruckes gleich sein. Manchmal wird auch der Wasserdruck bis in die Nähe der Streckgrenze gesteigert, es sind dann die bleibenden Formänderungen zu beachten bzw. zu messen (Abb. 124). Hier wird das Wasser in einem dem Prüfling ähnlichen Gefäß nach Abstellen des Druckes in der Röhre soviel gestiegen sein, wie sich der Kessel oder Gasbehälter bleibend gedehnt hat. Selbstverständlich ist eine bleibende Ausdehnung der zu prüfenden Hohlkörper nicht erwünscht und kann zur Verwerfung führen, wenn sie das zulässige Maß überschreitet. Solche Streckgrenzenüberschreitungen brauchen nun

nicht immer auf der Wahl eines ungeeigneten Werkstoffes zu beruhen, sondern können auch die Folgen einer ungleichmäßigen Wandstärke sein. Das Bestreben jedoch, hohe Drücke bei geringem Materialaufwand oder geringem Materialgewicht des Gefäßes zu erzielen, dürfte allmählich zu einer beunruhigenden Unsicherheit führen, da der Werkstoff in einen Zustand gezwängt wird, der ihn zwar zu den gewünschten Eigenschaften befähigt, aber auch unerwünschte Spannungszustände erzeugen kann. Genauere Angaben sind in Din 2401 enthalten.

Häufig wird die Dichtheitsprüfung in den Vorschriften dadurch verschärft, daß gewisse Hohlkörper einer Luftdruckprobe unter Wasser unterworfen sind. Ein vollkommen dichter Verschluss an Flanschverbindungen und sonstigen Öffnungen muß hier gefordert werden, da sonst das eigentliche Kriterium, die aufsteigenden Bläschen, falsch

gewertet werden könnten. Trotzdem werden dem geübten Beobachter die Entstehungsursachen aller unregelmäßigen Erscheinungen bei solcher Druckprüfung kaum entgehen.

Einen noch schärferen Charakter hat die etwas umständlichere Ammoniakprobe. Hochbeanspruchte Stahlformgußstücke, wie Ventilkörper werden nach genügender Abdichtung mit Ammoniak gefüllt und darauf am besten im geschlossenen Raum mit einem offenen Gefäß — etwa einem Löffel — mit Salzsäure abgesucht.

Treten auch nur die geringsten Mengen der leichten Ammoniakdämpfe aus den kleinsten Öffnungen heraus, so entstehen durch das Zusammenreffen von Salzsäure und Ammoniak deutlich sichtbare Rauchschwaden. Diese sonst außerordentlich zuverlässige Probe auf die äußerste Dichtigkeit einer Gefäßwand wird vergeblich, wenn die Vorbereitungen nicht mit peinlichster Sauberkeit ausgeführt werden. Jeder Ammoniakspritzer auf dem Gefäß oder auf dessen nächster Umgebung läßt bei Annäherung von Salzsäure unkontrollierbare Merkmale von Undichtigkeit des Prüflings erscheinen. Am besten ist es, das Gefäß außerhalb des Prüfraumes zu füllen und auf einem anderen Gerät als das bei der Füllung gebrauchte in das Gebäude zurückzubringen.

Die Öldichtheitsprobe ist für die Prüfung schalenartiger Gußstücke von Bedeutung. Wird ein solches Gußstück mit Petroleum oder einem anderen leichteren Öl gefüllt, so werden durch das Sichtbarwerden von Ölflecken auf der Außenseite des Gefäßes auch die winzigsten Poren angedeutet und die schon durch Oxydation geschlossenen Poren wieder geöffnet.

### 30. Die Tiefungsprobe.

Die Tiefungsfähigkeit wird nur an Feinblechen aus Stahl und Metallen ermittelt und ist nicht selten auch Gegenstand einer Abnahmeprüfung. Die Tiefungsprobe ist berufen, die Treib-, Bördelungs- und Ziehbarkeit dünner Bleche zahlenmäßig zu ermitteln. Am meisten verbreitet ist der für die Tiefung gebaute Erichsen-Apparat, dessen Wirkung darin besteht, daß ein kreisrundes Blech an seinem Rand durch eine Einspannvorrichtung festgehalten und in der Mitte bis zu einer gewissen Tiefe kugelförmig ausgebeult wird. Die Tiefe der Ausbeulung ohne Reißbildung gibt den Maßstab für

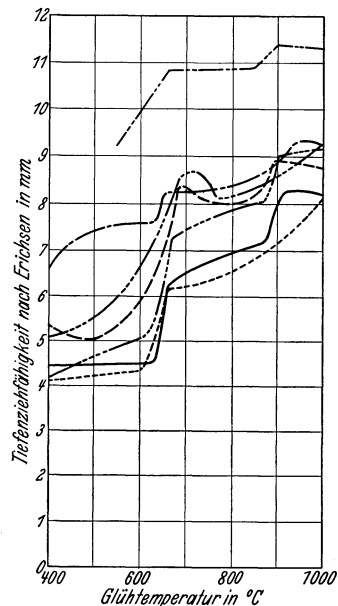


Abb. 125. Einfluß der Glüh Temperatur auf die Tiefziehbarkeit von warm gewalzten Flußstahlblechen verschiedener Stärke nach Edwards und Jones.

die Qualität der Feinbleche. Mit der Blechstärke wächst die Tiefungsfähigkeit, daher muß diese auf jene bezogen werden. Nach D.V.M.-Prüfverfahren A 101/102 werden normenmäßig Vorschläge für die Tiefungsversuche gegeben. Dem Erichsen-Apparat werden für die Blechsornten Normalkurven beigegeben, nach denen der Ausfall einer Prüfung zu bewerten ist. Nach den Untersuchungen von C. A. Edwards und J. C. Jones<sup>1</sup> wird in erster Linie ein hoher Phosphor- und Schwefelgehalt die Tiefziehfähigkeit ein Stahlblech ungünstig beeinflussen. Im übrigen wird mit Erreichen sowohl des unteren als auch oberen Umwandlungspunktes die gesuchte Eigenschaft ruckweise erhöht (Abb. 125).

### **31. Die Häufigkeit (Großzahlforschung).**

Die Großzahlforschung ist eine Hilfswissenschaft, deren sich besonders die Statistiker und das Versicherungsgewerbe bedienen. Daß man sie auch in der Betriebsüberwachung und Werkstoffprüfung mit Erfolg anwenden kann, ist von K. Daeves mit Nachdruck betont und bewiesen worden. Allerdings läßt die Natur die Großzahlforschung ihre Anwendung nur dort zu, wo es sich um Massenvorkommen handelt. Hier wird sie aber mit Hilfe ihrer Kurven einen uneingeschränkten Überblick über die tatsächlichen Verhältnisse liefern. Für die Abnahme wird sie den besten Überblick über die Leistungen eines Werkes geben, und dem Besteller die Zuverlässigkeit eines Betriebes untrüglich beweisen.

Es wird rückhaltlos zugegeben werden müssen, daß einzelnen Stichproben, wie sie in Abnahmeprüfungen gegeben sind, stets etwas Zufälliges anhaftet. Aber die Ergebnisse aus einer großen Anzahl Versuche tragen einen unbedingt wahrhaften Charakter. Auffällige Schwankungen in einer Häufigkeitskurve deuten auf stets wiederkehrende Verhältnisse hin. Bestimmte Maxima und Minima einer Kurve zeigen außergewöhnliche Beeinflussungen an, deren Untersuchung von größtem Werte sein kann.

### **32. Einsatzhärtung und ihre Prüfung.**

Als Werkstoffverbesserung im weiteren Sinne ist auch die Einsatzhärtung aufzufassen. Ihre Anwendung ist alt und wegen ihrer hervorragenden Erfolge besonderer Beachtung wert. Das Bedürfnis, der Oberfläche und bestimmten Zonen eines Maschinenteiles gegen Abnutzung besonders widerstandsfähig zu machen, führte zur Ausbildung des Einsatzhärteverfahrens.

Dieses Verfahren gründet sich in der Hauptsache auf die Zuführung des härtenden Kohlenstoffes bis zur Höhe von etwa 1% in die dazu vorgesehene Oberfläche eines Stahles. Diese durch Kohlenstoff in ihren Eigen-

<sup>1</sup> C. A. Edwards u. J. C. Jones: Stahl u. Eisen Bd. 46 Nr. 36 S. 1497. Berlin: C. N. Erichsen.



schaften veränderte Werkstoffoberfläche wird sich bei einer Abschreckung aus einer bestimmten Temperatur genau so verhalten wie ein Stahl mit demselben ursprünglichen Kohlenstoffgehalt; die Oberfläche wird in der aufgekohlten Schicht glashart. Hierbei ist es jedoch sehr wichtig, dem von der Härteschicht eingeschlossenen Stahlkern, trotzdem er durch die Härtung beeinflusst wurde, möglichst seine ursprünglichen mechanischen Eigenschaften zu erhalten. Es ist leicht einzusehen, daß daher nur gewisse Stahlsorten als Einsatzstähle verwendet werden können. Soweit die Abnahmevorschriften überhaupt dafür einen Werkstoff vorschreiben, wird ein solcher von geringen Verunreinigungen und geringem Kohlenstoffgehalt bis etwa 0,20% zugelassen. Einige Gruppenanalysen seien für Einsatzstähle in folgender Zahlentafel 10 aufgeführt:

Zahlentafel 10.

C . . . . .	0,05 bis 0,20%	P . . . . .	höchstens 0,05%
Mn . . . . .	0,30 bis 0,50%	S . . . . .	„ 0,04%
Si . . . . .	0,15 bis 0,30%		

Für hochbeanspruchte Teile, die einen hochzähnen Kern aufweisen sollen, verwendet man neuerdings mit Erfolg auch niedrig legierte Einsatzstähle mit Analyse der Zahlentafel 10a.

Zahlentafel 10a.

C . . . . .	0,05 bis 0,20%	P . . . . .	höchstens 0,040%
Mn . . . . .	0,50%	S . . . . .	0,040%
Si . . . . .	etwa 0,25%	Ni . . . . .	1,00 bis 6,00%

oder als Legierungszusätze bei gleichbleibender Analyse nach Rapatz<sup>1</sup>.

Zahlentafel 11.

C	Chrom	Nickel	Zu- stand	Streck- grenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Deh- nung %	Kon- traktion %	Ver- wen- dung
bis 0,20	0,6 bis 0,9	3,0 bis 3,5	gegl. geh.	45 bis 50 90 bis 110	60 bis 70 120 bis 140	20 bis 25 8 bis 12	60 bis 65 30 bis 40	Zahnräder, Rollen, Spindeln
bis 0,20	0,6 bis 1,0	4,0 bis 4,5	gegl. geh.	50 bis 55 100 bis 135	65 bis 80 130 bis 160	12 bis 20 5 bis 10	50 bis 60 25 bis 35	
bis 0,18	0,85 bis 1,8	4,5 bis 5,0	gegl. geh.	55 bis 70 120 bis 175	75 bis 100 150 bis 200	10 bis 18 5 bis 10	45 bis 60 30 bis 40	

Diese chemische Zusammensetzung hat offenbar den Zweck, im Kern des Einsatzstückes nicht nur eine hohe Zähigkeit, sondern eine hohe Festigkeit bei der Härtung zu erzeugen.

Die Neigung des Stahles, bei bestimmten Temperaturen Kohlenstoff von außen aufzunehmen, ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Die Diffusionsneigung wächst mit der Temperatur (Abb. 126).

<sup>1</sup> F. Rapatz: Die Edelmehle S. 117, Berlin: Julius Springer.

Nach Giolitti ist eine Einsatzhärtung, eine Zementierung, schon im Gebiet des körnigen Perlits möglich, wenn die Glühdauer ausreicht.

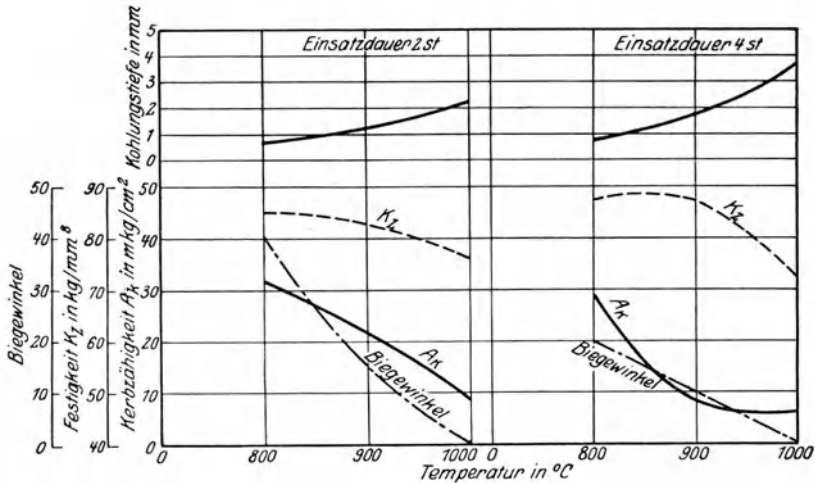


Abb. 126. Abhängigkeit der Kohlungstiefe und der Festigkeitseigenschaften von der Einsatzdauer und Einsatztemperatur (Brandstetter).

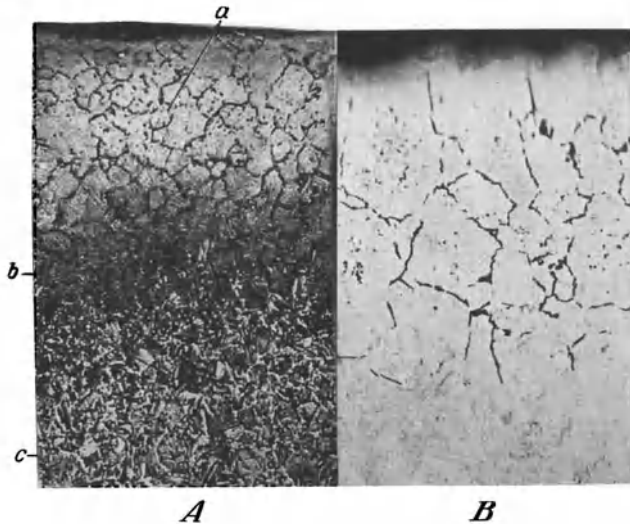


Abb. 127 A. Bolzen von 5 mm Durchmesser aus Cr-Ni-Stahl. Gesamtkohlungstiefe 0,55 mm. a Überkohlung, freier Zementit. b Übergangsstruktur, Martensit. c Kernzone, Ferrit mit körnigem Perlit. Fehlerhafter Einsatz.  $\times 100$ . B. Dasselbe, jedoch ausgeglüht. Das deutlich sichtbare Zementitnetz, die Ursache bröckeliger Oberfläche.  $\times 200$ .

Man kann sagen, daß alles von der Wärmebehandlung Gesagte auf die Glühtemperatur der Einsatzhärtung paßt. Je höher die Temperatur, desto mehr wird das unerwünscht grobe Korn erzeugt. Es darf auch nicht übersehen werden, daß durch die Aufnahme des Kohlenstoffes bis 1%

der Schmelzpunkt des Stahles auf etwa  $1200^{\circ}$  herabgesetzt und die Gefahr einer Überhitzung oder Verbrennung näherrückt. Wenn auch das Einsetzen bei höheren Temperaturen schneller zum Ziele führt, so wird die Qualität der Zementation nur bei Temperaturen in der Nähe des oberen Umwandlungspunktes gewährleistet. Wird sogar beträchtlich darunter zementiert, dann ist ein vorheriges Ausglühen unbedingt erforderlich. Als Einsatztemperaturen gelten  $850$  bis  $900^{\circ}$ ; für dünnere Härteschichten werden  $820^{\circ}$  genannt. Vermieden werden muß ein Überkohlung durch zu hohe Temperaturen und zu lange Glühdauer, weil dadurch infolge Zementitbildung besonders Ränder spröde und bröckelig werden (Abb. 127 und 128).

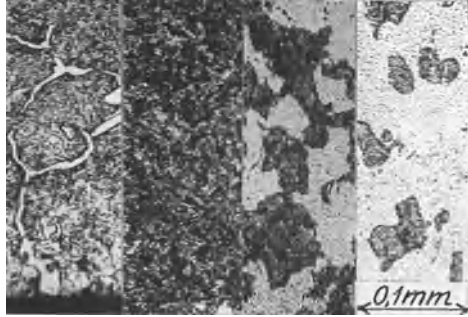


Abb. 128. Ausschnitte aus dem Mikrogefüge entsprechend einem Kohlungsübergang der Abb. 129 (nach Bach und Baumann).

In der Regel pflegt man bis auf Schleifmaß fertig bearbeitete Werkstücke — in Kohlenstoff abgebende Stoffe gelegt — bis zu Temperaturen

über den  $A$  3-Punkt solange zu erhitzen, bis eine bestimmte Kohlenstoffmenge aus dem Einsatzmittel in die zu härtende Oberfläche eingewandert ist. Die Art und Zeit der Diffusion (Einwanderung) können von außen stark beeinflusst werden, so daß die Güte der Einsatzhärtung (Zementation) recht verschieden ausfällt. Dem Abnehmer kommt es stets auf eine bestimmte Härtetiefe, eine regelmäßige Verteilung des diffundierten Kohlenstoffes und einen allmählichen Übergang der Härteschicht an (Abb. 127, 130 und 131). Denn ein Werkstück wird bald unbrauchbar, wenn eine zu dünne harte Schicht in die weiche eingedrückt wird oder durch Verschleißarbeit die Härte verliert oder wenn die eingesetzte Fläche Zonen verschiedener Härteschicht aufweist und unzulässige Unebenheiten durch Abnutzung erzeugt. Ebenso ist eine Einsatzhärtung wertlos, wenn durch scharfe Gefügeübergänge innere Werkstoffspannungen entstehen, durch welche die Einsatzschicht abblättert oder rissig wird (Abb. 127 und 130).

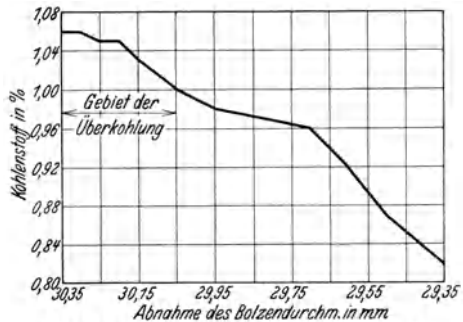


Abb. 129. Kohlenstoffgehaltsabnahme nach dem Innern eines eingesetzten Bolzens von  $30,35$  mm äußeren Durchmessers aus E.C.N. 15. Einsatzzeit =  $4\frac{1}{2}$  Std. Einsatztemperatur  $850^{\circ}$  C.

Zumeist werden von Maschinenteilen nur bestimmte Flächen zementiert. Die übrigen Stellen werden vor der Diffusion des Kohlenstoffes durch Überschmieren von Lehm, Auflegen von Asbest oder Verkupfern geschützt. Wichtiger ist jedoch, daß die für den Einsatz vorgesehene Flächen genügend weit vorgearbeitet, frei von Rost und anderen der Einwirkung des Kohlenstoffes widerstehenden Stoffe sind (Abb. 131 b). Werden Packungen sehr nah an die zu härtenden Stellen herangelegt, dann werden die aus jenen beim Abkühlen in Wasser austretenden Gase an den Begrenzungen des Einsatzes isolierend wirken und unregelmäßige Härtung hervorrufen.

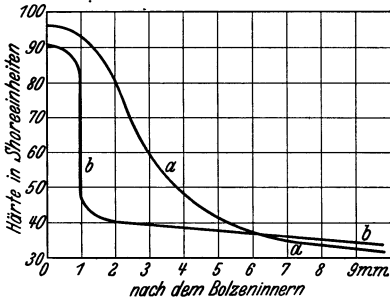


Abb. 130. a Tiefenwirkung der Kohlung bzw. der Einsatzhärtung an einem Bolzen von 30 mm  $\varnothing$  Einsatzhärtung normal. b Geringe Tiefenwirkung und plötzlicher Übergang von der Einsatz- zur Kernzone.

Als Zementationsmittel ist dasjenige zu bevorzugen, von dem die besten Erfahrungen vorliegen und das sich wirtschaftlich rechtfertigt. Im allgemeinen werden diese Mittel fertig bezogen und können im Rahmen dieser Abhandlung nicht alle genannt werden. Es sei aber erwähnt,

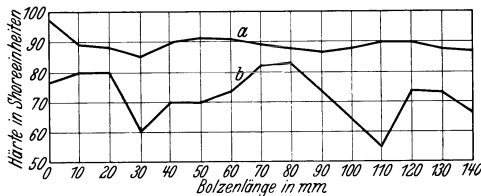


Abb. 131. a Eingesetzter Teil eines Bolzens von 140 mm Länge in Abständen von 10 mm geprüft, gleichmäßige Härte. b Eingesetzter Bolzen infolge teilweisen Anrostens ungleichmäßig gekohlt, dementsprechend Härte ungleichmäßig.

daß den aus ihnen entweichenden kohlenstoffhaltigen Gasen die hauptsächlichste Rolle zufällt.

Die Einsatzhärtung wird auf Härte, Dicke und Gleichmäßigkeit der Einsatzschicht, auf die Veränderungen des Kernes durch den Härtvorgang, auf den Übergang von der kohlenstoffreicheren

zur kohlenstoffärmeren Zone und auf die Riblosigkeit der Oberfläche geprüft.

Die Härte und Gleichmäßigkeit pflegen manche Besteller durch einen Rücksprunghärteprüfer, von denen der bekannteste das Skleroskop ist (Abschnitt 16), prüfen zu lassen. Die mit diesem Apparat ermittelten Shorehärten werden ungenau, wenn die Einsatzschicht nicht mindestens 0,8 mm und die Probedicke 40 mm beträgt. Als zulässige Mindesthärte für auf Abnutzung hochbeanspruchte Flächen werden 80 Shoreinheiten angegeben, die jedoch auf der ganzen gehärteten Fläche gleichmäßig vorhanden sein muß (Abb. 131 a). Zuverlässigere Angaben liefern andere in Abschnitt 16 besprochene Härteprüfer. Ist eine besonders gehärtete Kugel vorhanden, so ist auch die Brinellprüfung mit einer Kugel von 5 mm und einer Belastung von 750 kg anwendbar.

Die Einsatztiefe, die Schichtdicke, kann sehr gut durch eine Bruchprobe ermittelt werden. Ein nach Abb. 131 u. 134 vorbereiteter Probestab, der dem Einsatzgut beigegeben wird, wird als Bruchprobe verwendet. Die Dicke der Einsatzschicht ist dann genau auf den vier Seiten des Stabes festzustellen. Diese Probe läßt auch gleichzeitig am Bruchgefüge die Art des Übergangs der Härtezone zum weicheren Kern erkennen. Manche Abnehmer lassen, wenn es die Konstruktion gestattet, an einer nicht der Abnutzung ausgesetzten aufgekohlten Stelle nach der Härtung Stufen von  $\frac{1}{2}$  mm Tiefe und 10 mm Breite hintereinander bis zu 4 mm Gesamttiefe ausarbeiten. Die aufgekohlte Schicht wird also je nach ihrer Tiefe mehr oder weniger entfernt (Abbildung 133). Nach der Härtung läßt sich dann einwandfrei die Härtetiefe durch eine Feilprobe oder zahlenmäßig durch Härteprüfer feststellen.

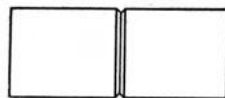


Abb. 132. Vorbereitung eines Bruchprobekörpers zur Feststellung der Einsatztiefe.



Abb. 133. Anschleifen von Absätzen einer eingesetzten Gleitbahn zur Feststellung der Kohlungs- bzw. Härtetiefe.

Die Härteschicht des Bruch- bzw. des Mikrogefüges soll zur Kernzone allmählich, nicht schichtweise übergehen. Finden sich an der Übergangsstelle große Kristalle oder ist gar der Rand der Härteschicht überkohlht, dann wird sich diese von der darunterliegenden weicheren Schicht lösen und durch senkrecht dazu liegenden Risse ausbröckeln (Abb. 12/ u. 130b).

Manchmal wird auch, um die Kernfestigkeit nach der Härtung kennenzulernen, ein entsprechender Probestab nach der Kohlung, aber vor der Härtung, aus dem Kern herausgearbeitet und mit den übrigen Stücken gehärtet. Die Kernfestigkeit wird je nach der Legierung bei sehr weichem Kohlenstoffstahl um etwa 20%, bei Chrom-Nickel-Stählen, wie Zahlentafel 11 zeigt, sogar um 100% des geglühten Ursprungswerkstoffs zunehmen.

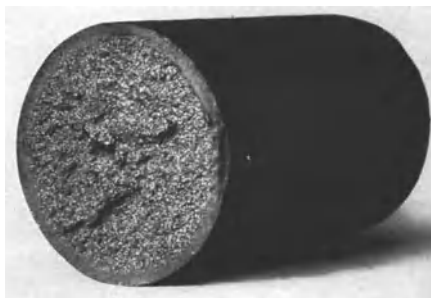


Abb. 134. Gut gelungener Einsatz mit einer 2 mm dicken Einsatzschicht und einem zähen Kern.

Das Einsatzhärteverfahren hat eine nicht unbedenkliche Nebenerscheinung aufzuweisen, nämlich das Verziehen von Gegenständen als Folge von Wärmespannungen. Da aber eingesetzte Werkstücke auf Maß vorgearbeitet sind, wird ihre Verwendung nach Formänderung

fraglich. Um diese nachteilige Folgeerscheinung der Zementation zu vermeiden, läßt die Firma Krupp nach einem Verfahren von Fry auch an den sperrigsten Werkstücken durch Diffusion von Stickstoff bei etwa 500° eine Oberflächenhärte erzeugen, welche die sonstige Einsatzhärte übertrifft. Dieses als Nitrierung bezeichnete Oberflächenhärteverfahren hat offenbar den Vorzug, daß es bei niedrigen Temperaturen (500 bis 550°) und geringer Abkühlungsgeschwindigkeit ausgeführt werden kann. Die nitrierte Schicht hat in der Regel eine Dicke von 0,7 mm und verläuft allmählich in den nichtnitrierten Teil. Aus der Zahlentafel 12 geht hervor, daß gewöhnlicher Stahl durch die Nitrierung nur wenig gehärtet wird, dagegen bestimmte Legierungszusätze außerordentliche Härten ermöglichen.

Zahlentafel 12. Einfluß der Zusätze zum Eisen auf die Nitrierungshärte.

Bezeichnung der Stähle	C %	Zusätze		Brinellhärten		
		%	%	vor der Nitrie- rung	nach der Nitrie- rung	Härte- steige- rung
Elektrolyteisen . . . . .	0,051	—	—	90	140	50
C-Stahl . . . . .	0,62	—	—	215	234	19
„ . . . . .	1,27	—	—	278	285	7
Si-Stahl . . . . .	0,48	1,95 Si	0,33 Mn	244	317	73
„ . . . . .	0,17	3,2 Si	0,17 Mn	207	288	81
Mn-Stahl . . . . .	0,43	0,06 Si	1,50 Mn	215	285	70
Si-Mn-Stahl . . . . .	0,46	1,3 Si	1,60 Mn	229	388	159
Ni-Stahl . . . . .	0,33	3,6 Ni	—	191	191	0
Co- „ . . . . .	0,20	4,93 Co	—	138	222	84
Va- „ . . . . .	0,18	0,22 Va	—	157	317	160
Cr- „ . . . . .	0,22	2,81 Cr	—	219	404	185
Al- „ . . . . .	0,28	3,28 Al	—	174	389	215
„ . . . . .	0,13	2,50 Al	—	145	485	340
Ti-Stahl . . . . .	0,18	3,85 Ti	—	161	393	232
Cr-Ti-Stahl . . . . .	0,17	2,25 Cr	0,80 Ti	147	294	247
Cr-Mn- „ . . . . .	0,44	1,00 Mn	1,90 Cr	298	500	202
Cr-Al- „ . . . . .	0,50	2,30 Cr	1,75 Al	310	592	282

Wenn auch das Nitrierungshärteverfahren geeignet erscheint, eine bisher bestehende Lücke in der Härtepraxis auszufüllen, so hat es doch einige Nachteile, auf die Fry von vornherein aufmerksam machte und die auch seine allgemeine Anwendung bisher nicht gestatteten. Ganz abgesehen von der angezweifelteten Wirtschaftlichkeit des Verfahrens kann es nur für ebene und abgerundete Flächen, jedoch nicht für Kanten und hervorspringende Teile verwendet werden, da wegen der außergewöhnlichen Härte die Härteschicht unvermeidlich absplittert.

Die Prüfung kann nur unter denselben Gesichtspunkten wie bei der Einsatzhärtung vorgenommen werden.

### 33. Die Korrosion und ihre Prüfung.

Die Vergänglichkeit der Metalle ist jedermann aus den täglichen Erfahrungen bekannt. Große Mengen unserer wertvollsten Werkstoffe, insbesondere des Eisens, werden Tag für Tag ein Opfer der zerstörenden Einflüsse. Die Erkenntnis der Ursachen der zerstörenden chemisch-physikalischen Wirkungen der Korrosion sind jedoch bis heute kaum über die Anfänge hinaus gediehen. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Metalle hat die unablässige Forschung weitestgehend aufgeklärt; zur Verbreitung einer exakten Korrosionsforschung jedoch hat es bis in die jüngste Zeit allseitiger Anregung bedurft. Wenn auch zugegeben werden muß, daß es bislang keine zuverlässigen, richtig erklärende Theorien über das Verhalten der Werkstoffe gegen chemische Angriffe gibt, so läßt sich doch schon heute eine durch Erfahrung begründete Aussage mit einiger Sicherheit machen. Das ist nicht nur von höchster Bedeutung für den Verbraucher bzw. Abnehmer, sondern auch für den Konstrukteur, der — mit den wesentlichen Einzelheiten der Korrosion bekannt — die Wirkung der Korrosion erheblich mildern kann. Nach G. Masing<sup>1</sup> versteht man unter Korrosion die unbeabsichtigte, von der Oberfläche eines metallischen Körpers ausgehende Zerstörung durch chemische Einwirkung von nichtmetallischen Stoffen.

Heute weiß man, daß die Korrosion, insbesondere bei Eisen, von bestimmten Voraussetzungen abhängt. Diese sind zunächst bedingt durch die korrodierenden Mittel wie Luft, Wasser und Säuren<sup>2</sup>. Da diese jedoch in ihrer Zusammensetzung stets verschieden vorliegen können, sind sie ohne weiteres für Vergleichsversuche nicht brauchbar; wenngleich man die verschiedenen stark korrodierenden Einflüsse von Land- und Seeluft, von Süß- und Seewasser in ihren verschiedenen Abstufungen, ganz zu schweigen von Laugen und Säuren, kennt. Es ist daher notwendig, bei exakten Versuchen mit Vergleichswert genaue Angaben über Ort und Zeit, über chemische Zusammensetzung u. a. erläuternde Angaben zu machen. Auch dann wird man noch nicht alle zusätzlichen Beeinflussungen der Korrosionswirkung erfaßt haben; denn die gleichzeitige Beanspruchung des korrodierenden Werkstoffes (Werkstücke im Betriebe) begünstigt ebenfalls die Korrosion.

Dies geschieht noch in erhöhtem Umfange, wenn, was meistens der Fall zu sein scheint, der Korrosionsvorgang durch einen elektrochemischen Prozeß unterstützt wird. Sind zwei verschiedene Körper (Eisen-Kupfer) oder auch nur zwei verschiedene Zustände desselben Werkstoffes (geschweißt — ungeschweißt, Warmverarbeitung — Kaltreckung) vorhanden, dann entstehen Potentialunterschiede, die bei Gegenwart von Elektrolyten zur Bildung von Lokalelementen führen.

<sup>1</sup> G. Masing: Stahl u. Eisen Jg. 45 Nr. 26 S. 1042.

<sup>2</sup> E. H. Schulz: Stahl u. Eisen Jg. 48. S. 1393.

An diesen Stellen pflegen so starke Anfressungen aufzutreten, daß jede Voraussicht und Berechnung zunichte wird. Nur so ist es zu verstehen, daß viele Korrosionserscheinungen von außergewöhnlichem Umfang und Ausmaß trotz sorgfältigster Laboratoriumsarbeit nicht befriedigend erklärt werden konnten. Andererseits ist es aber wohl möglich, durch vorsichtiges Ausschalten aller zusätzlichen Beanspruchungen exakte Prüfungen des Korrosionswiderstandes der verschiedenen Werkstoffe auszuführen.

Neben den Korrosionsmitteln ist den korrosionsfördernden oder behindernden Werkstoffzuständen, Oberflächen, Arten und Temperaturen eine besondere Rolle zuzuweisen. Aus den Abb. 135 werden

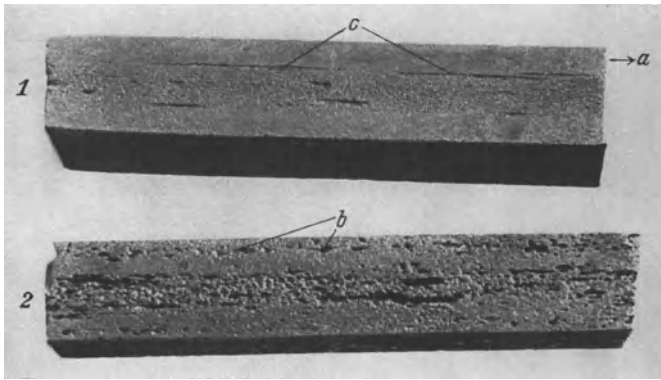


Abb. 135. Korrosion durch verdünnte Salzsäure, und zwar 1. an einem wenig verunreinigten Kesselblech, dessen schlackenlose Ränder (*a*) fast unangegriffen sind, 2. an stark verunreinigtem Blech, bei dem Schlacken (*b*) und Gasblasenseigerungen (*c*), also Stellen stärkster Schwefel- und Phosphoranreicherungen durch die Säure aufgelöst wurden.

die durch verdünnte Salzsäure verschieden stark korrodierten Zonen eines in der Längsrichtung geschnittenen Kesselbleches erkannt. Inhomogenitäten wie zusammengedrückte Gasblasen *a*, Schlackeneinschlüsse *b*, die den Anfressungen keinerlei Widerstand entgegensetzen, verursachen eine frühzeitige Korrosion. Anreicherungen an Schwefel und Phosphor *c*, überhaupt die gesamte Seigerungszone neigt schneller zum Rosten als die verhältnismäßig reinen Randzonen *d*. Ebenso zeigt Abb. 136 die unterschiedliche Korrosionswirkung in den verschiedenen Zonen eines 140 mm dicken kohlenstoffarmen Walzknüppels. Aus den Kurven geht gleichzeitig hervor, daß mit der Kornverfeinerung der Korrosionswiderstand vergrößert wird.

Eine jedem Praktiker bekannte Tatsache ist die Verminderung der Korrosionsgefahr durch Glätten der Oberfläche. Rauh bearbeitete Flächen werden in verhältnismäßig kurzer Zeit hohe Gewichtsverluste durch Einwirkung korrodierender Mittel erleiden. Walz-, Schmiede- und



Gußhaut müssen wegen eines größeren Korrosionswiderstandes, den sie einem Werkstoff verleihen, als Schutzhülle angesehen werden (Abb. 137 bis 139).

Zumeist liegt das verschiedene Verhalten der Werkstoffe gegenüber den korrodierenden Einflüssen in der chemischen Zusammensetzung bzw. in der Zusammensetzung ihrer Legierungsbestandteile begründet.

Abgesehen von den rostfreien, rost-sicheren und säurefesten Stählen erhöhen die meisten Legierungszusätze den Korrosionswiderstand. So zeigte ein seit 10 Jahren der wechselnden Zimmertemperatur und -feuchtigkeit ausgesetzter Zerreißstab eines Chrom-Nickel-Vanadium-Stahles nicht die geringsten Anfressungen, sondern seine ursprüngliche Politur, während ein Stab eines gewöhnlichen Kohlenstoffstahles vollständig mit Rost überzogen war.

E. H. Schulz<sup>1</sup> hat durch die Abb. 140 gezeigt, daß schwach kupferlegierte Stähle gewöhnlichen Kohlenstoffstählen wesentlich überlegen

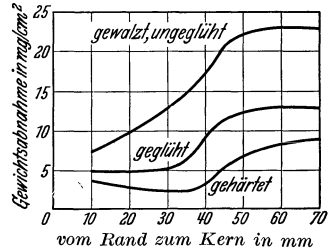


Abb. 136. Abhängigkeit der Korrosion von der Lage der Probe in einem Walzquerschnitt, hervorgerufen durch verdünnte Salzsäure.

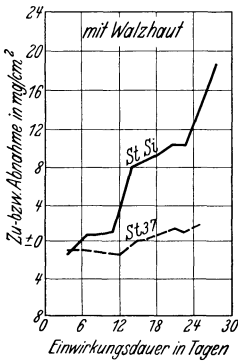


Abb. 137.

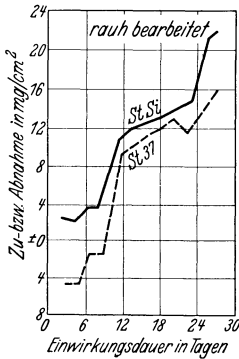


Abb. 138.

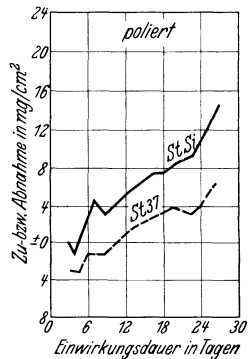


Abb. 139.

— St Si — St 37

Abb. 137–139. Korrosion von Stahl 37 und Silizium-Baustahl bei verschiedener Oberflächenbeschaffenheit durch feuchte schweflige Säure. (Schulz.)

sind und daher Beachtung verdienen. Von den Stahlherstellern werden zur Zeit eine Fülle von korrosionsbeständigen Stählen angeboten; es fragt sich nur, ob die Wirtschaftlichkeit ihre Verwendung rechtfertigt und ob nicht bei achtsamer Behandlung rostschützende Überzüge genügen.

In der Prüfung des Korrosionswiderstandes ist bislang kaum ein einheitliches Verfahren festzustellen. Handelt es sich um Abnahmen,

<sup>1</sup> E. H. Schulz: Stahl u. Eisen Jg. 48 Nr 40 S. 40.

so werden aus dem abnahmepflichtigen Werkstoff Probekörper herausgeschnitten, die der Einwirkung des korrodierenden Mittels ausgesetzt

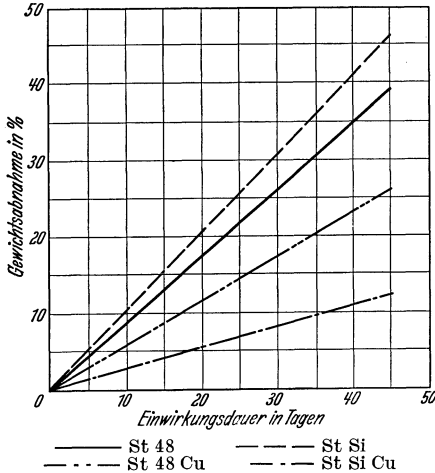


Abb. 140. Gewichtsabnahme verschiedener Bau-  
stähle in stark verdünnter Salzsäure. (Nach  
Schulz.)

werden. Das Ergebnis muß sich unter genauer Angabe des Mittels der Metalloberfläche, der letzten Wärmebehandlung bzw. der Gefügebeschaffenheit und Einwirkungszeit auf den Gewichtsverlust je cm<sup>2</sup> Oberfläche beziehen. Der „Ausschuß für Rostschutz“ des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute stellte vor einigen Jahren Richtlinien zur praktischen Korrosionsprüfung auf, nach denen es möglich ist, einheitlich vorzugehen und vergleichbare Resultate zu erzielen. Hierbei handelt es sich um praktische Versuche, die zu gleicher Zeit und unter denselben Voraussetzungen an dem

zu prüfenden und einem zum Vergleich herangezogenen Werkstoff vorgenommen werden. Als Vergleichswerkstoff an Stahl und seinen Legierungen werden genannt:

Siemens-Martin-Stahl <sup>1</sup> mit der chemischen Zusammensetzung		
unter	0,1% C	0,03 bis 0,04% P
„	0,1% Si	0,03 „ 0,05% S
„	0,3 bis 0,6% Mn	unter 0,07% Cu

Legierungsbestandteile sind dabei nicht erwünscht.

Die Probenentnahme ist auch hier von außerordentlicher Bedeutung. Wie Abb. 135/1 deutlich zeigt, werden Seigerungszone und seigerungsfreie Zone verschieden stark angegriffen. Um einen einwandfreien Vergleichsmaßstab bei der Prüfung überhaupt zu erhalten, sind die Proben aus der äußeren bzw. aus der seigerungsfreien Zone eines Stückes zu entnehmen, da die Innenzone wegen der verschiedenen Konzentration der Seigerung auch verschiedenes Verhalten zeigen wird. Ebenso wichtig ist, darauf zu achten, daß die Proben gleichmäßig verformtem oder vollkommen unverformtem Teil eines Versuchsstückes entnommen werden, da verformte Werkstoffe stärker korrodieren als unverformte.

Die Richtlinien<sup>2</sup> unterscheiden zwischen Langzeit- und Kurzzeitversuchen. Es ist selbstverständlich, daß erstere den praktischen

<sup>1</sup> Stahl u. Eisen Jg. 50 Nr. 36 S. 1267.

<sup>2</sup> Stahl u. Eisen Jg. 50 Nr. 36 S. 1266.

Beanspruchungen mehr entgegenkommen als letztere und daher zuverlässiger sind. Die Größe der Proben ist so zu wählen, daß die Gewichtsabnahmen genügend meßbare Gewichtsgrößen ausmachen. Für Bleche und Band Eisen sind etwa 500 cm<sup>2</sup> vorzusehen; Drahtproben sollen mindestens 10 m lang; Rohre mittleren Durchmessers 50 cm lang sein.

Wird ein Langzeitversuch im Freien durchgeführt, so ist darauf zu achten, daß die Proben unter den gleichen Bedingungen ausgelegt werden, denn Sonne, Regen, Erdnähe und Wind beeinflussen das Ergebnis außerordentlich stark. Will man das genaue Verhalten eines Werkstoffes unter den mannigfaltigsten Umständen studieren, dann sollten Proben in der Seeluft und im Binnenland, in der Niederung und im Hochland ausgelegt werden. Je nach der späteren Verwendung der zu prüfenden Werkstoffe sollte man auch Langzeitversuche im Wasser und Erdboden vornehmen. Desgleichen wird man bei Werkstoffen für die chemische Industrie hohe Anforderungen an den Widerstand gegen heftig korrodierende Mittel, wie verdünnte Säuren, Salzlösungen u. a. stellen.

Manchmal wird man eine Kurzzeitprüfung wegen Zeitmangels oder wegen Sonderansprüche vorziehen. Dann pflegt man als korrodierendes Mittel Säuren in Konzentration oder Verdünnung zu verwenden: Salzsäure, Schwefelsäure, schweflige Säure und Ameisensäure.

Bei der Prüfung von Nichteisenmetallen oder ihren Legierungen wäre das Vergleichsprüfungsverfahren nur dann anwendbar, wenn von einem bestimmten Metall Erfahrungen über sein Verhalten gegenüber bestimmten Angriffen vorlägen. Das korrodierende Mittel, das bei der Prüfung Anwendung finden sollte, ist zunächst in den späteren Betriebsbeanspruchungen zu suchen. Doch wird hier häufig nicht-nachahmungsfähigen zusätzlichen Beanspruchungen, wie starken Potentialgefällen, Erosion, Gegenwart von Sauerstoff, Sonnenstrahlen, Flüssigkeitsbewegung, Fremdkörpern u. a., eine bedeutende Rolle zuzuschreiben sein, so daß es nur bedingt möglich sein wird, der praktischen Beanspruchung entsprechende Prüfverhältnisse zu schaffen.

### 34. Schweißprüfungen.

Daß die Ablösung der Nietverbindung durch die Schweißverbindung nähergerückt ist, wird manchen Praktiker mit gewisser Sorge erfüllen; denn er kennt noch die Zeit, in der jede Schweißung mit Mißtrauen betrachtet wurde. Ihrer unleugbaren wirtschaftlichen Vorteile wegen wird aber die Schweißnaht vor keiner Konstruktion haltmachen, sie wird Selbstverständlichkeit werden. Man ist über das Stadium des Gefühlsmäßigen hinweggeschritten und will dem Konstrukteur die notwendigen Berechnungsgrundlagen, wie sie für die Niet-

verbindung bestehen, schaffen. Der Verbraucher möchte freilich den Nachweis der Brauchbarkeit einer Schweißung durch eine genaue Werkstoffprüfung geführt wissen.

Jede Schweißung ist Herstellung einer homogenen Verbindung chemisch ähnlicher Stoffteile, zu deren Zustandekommen jedoch verschiedene

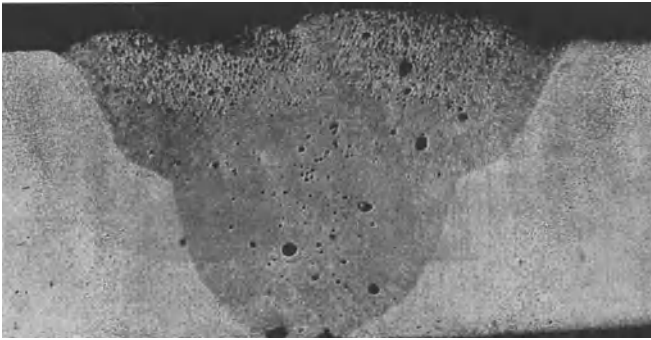


Abb. 141. Schnitt durch eine elektrische Lichtbogenschweißnaht, hergestellt mit nackter Elektrode. *V* Naht. Sehr stark verschlackt und porös (s. auch Abb. 145).

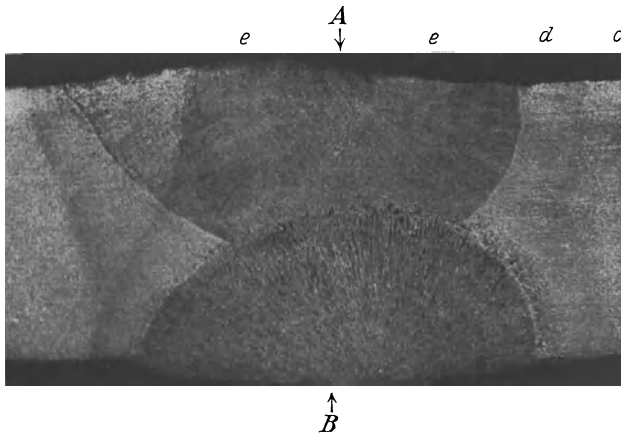


Abb. 142. Autogene X-Schweißung an einem Kesselblech: *A* zuerst geschweißte Seite, die durch die später geschweißte Seite *B* teilweise ausgeglüht und daher feinkörniger wurde, *c* Grundmaterial, *d* überhitzte Übergangszone, *e* Schweißzone (s. auch Abb. 146—148).

Wege eingeschlagen werden. Ohne auf die einzelnen Schweißarten näher einzugehen, sei hier nur orientierend gesagt, daß man in der Hauptsache die Gruppen: Preß- und Schmelzschweißung unterscheidet. Unter Preßschweißung wird diejenige Verbindung zweier Teile verstanden, die im teigigen Zustand der Verbindungsstellen bei Anwendung eines äußeren Druckes entsteht. In der Form der Hammerschweißung unter Benützung von Koksfeuer oder neuerdings auch von Wassergas ist sie die älteste Vertreterin der Schweißarten überhaupt. Sie findet heute noch reich-

liche Anwendung in der Verbindung großer Schiffbau- (Steven) und Eisenbahnbauteile (Bodenringe, Dreieckstraversen). Wegen ihrer langen Bewährungszeit wird sie als außerordentlich zuverlässig von allen



Abb. 143. V-Schweißung mit mehreren deutlich sichtbaren Raupen übereinander, hergestellt mit der Reisenauer Hochleistungselektrode. Biegeprobe 180° bei 3fachem Dorndurchmesser (Material ungeglüht). Auffallend ist die außergewöhnliche Verformbarkeit der Schweißzone.

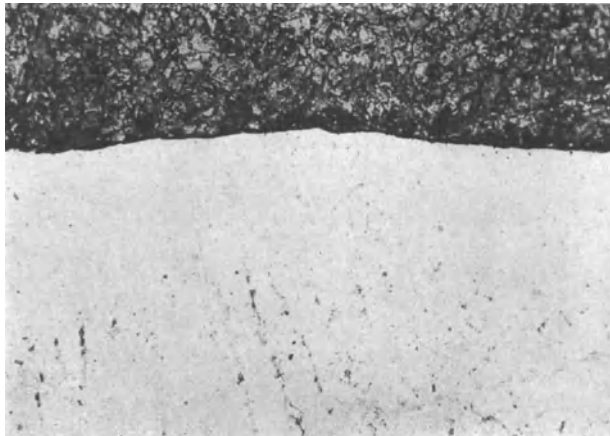


Abb. 144. Gut gelungene Schweißung zweier Kohlenstoffstähle mit einer A.W.P.-Elektrode. Trotz schroffen Überganges gute Bindung. Der Elektrodenwerkstoff (hell) konnte, da korrosionsbeständig, von der Ätzung nicht angegriffen werden. Diese Schweißung ähnelt einer Lötung.  $\times 100$ .

Verbrauchern anerkannt. In ihrem Anwendungsgebiet erfolgt die Prüfung zumeist nur durch Besichtigung. Einige Abnahmevorschriften verlangen eine Verbreiterung der Verbindungsstelle zwecks Entnahme einer Zerreiß- und Biegeprobe senkrecht zur Schweißnaht. Bei kleineren Massenteilen pflegt man einige Stücke in der Schweißstelle hohen Biegungs-

beanspruchungen auszusetzen, wobei sich ebenso wie beim genauen Zerreiß- und Biegeversuch eine unvollkommene Bindung löst. In den

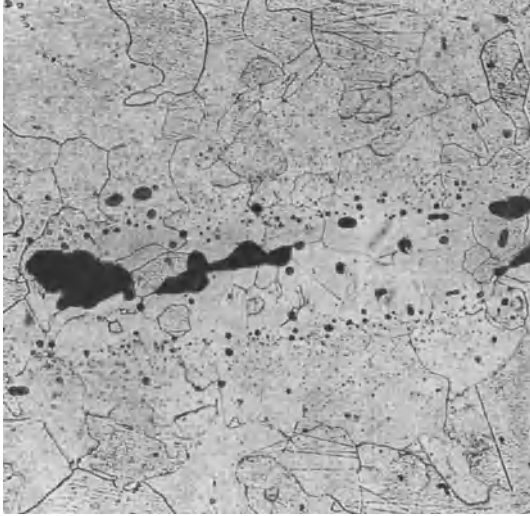


Abb. 145. Mikrogefüge einer Schweißung an weichem Flußeisen. Schweißfuge mit erheblichen Schlackeneinschlüssen. Die angrenzenden Zonen zeigen grobe überhitzte Struktur (s. auch Abb. 141).  $\times 200$ .

letzten Jahren ist freilich die Schweißtechnik so vervollkommenet, daß Fehlbindungen selten vorkommen.

Die Schmelzschweißung verbindet zwei Schweißstellen in flüssigem Zustande ohne Anwendung von Druck. Am meisten verbreitet ist die Gas-schmelzschweißung, auch als autogene Schweißung bekannt. Der Erfolg der Schweißung wird nicht nur von dem Schmelzmittel, das zumeist aus der Vereinigung von Sauerstoff und Azetylen-

besteht, sondern auch von den Schweißzusatzmitteln, dem Schweißdraht und der Beschaffenheit des Werkstoffes bestimmt.

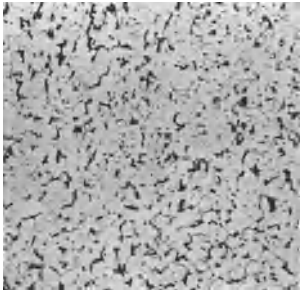


Abb. 146.

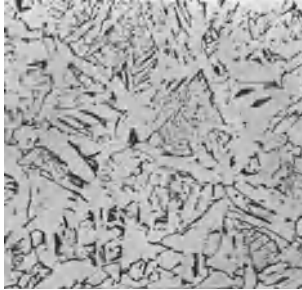


Abb. 147.

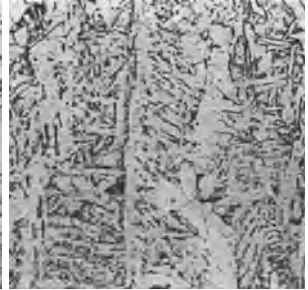


Abb. 148.

Gefügebilder der Schweißung des Kesselbleches der Abb. 142, und zwar: Abb. 146. Das Blech selbst. Abb. 147. Überhitzter Übergang von der Schweißung zum Blech. Abb. 148. Überhitzungsstruktur der Schweißfuge.  $\times 100$ .

Wenngleich noch nicht so stark verbreitet, aber nennenswerte Fortschritte aufweisend, ist die als elektrische Lichtbogenschweißung bekannte Schmelzschweißung zu nennen. Auch hier wird ein Zusatzmittel in Form eines Schweißdrahtes in eine Schweißfuge hineingeschmolzen, um sich hier mit den Fugenwänden innigst zu verbinden (Abb. 141 bis 144).

Wird die Schweißverbindung durch einseitiges Schweißen hergestellt, so benützt man die V-Schweißnaht, wird sie aber doppelseitig hergestellt, so verwendet man die X-Schweißnaht (Abb. 141 und 142). Neuerdings wird bei dickeren Blechen auch die Kelchschweißung angewandt.

Wie aus dem makroskopischen Bild (Abb. 142) der autogenen Schweißnaht gegenüber dem der elektrischen (Abb. 141 und 143) zu erkennen ist, ist bei ersterer die Überhitzungszone recht umfangreich, daher sind auch die Spannungen vermutlich erheblich größer als bei der letzteren.

Ob eine Schweißung gut oder mangelhaft ausgeführt ist, läßt sich mit Sicherheit nur durch zweckentsprechende Prüfungen nachweisen.

In erster Linie sollte hierzu die metallographische Untersuchung in Betracht kommen. Sie kann mit besonderer Genauigkeit makroskopisch und mikroskopisch den Schlackengehalt einer Schweißstelle und die Gefügebestandteile ohne Schwierigkeit feststellen (Abb. 145 und 146 bis 148). Es gibt auch eine Anzahl anderer Werkstoffversuche, die, wenn auch nur roh, einwandfreie Güteprüfung eines Schweißstückes gestatten. Bei der statischen Biegeprüfung in einem Schraubstock (Abb. 149) ist nur darauf zu achten, daß durch möglichst weites Aufstecken eines Rohres auf das hervorstehende Probeende die Biegung in den über der Schraubstockbacke liegenden Schweißteil getragen wird. Die dynamisch wirkende Hammerprobe

ist als außerordentlich empfindlich zu bezeichnen, da die dem Schlag gegenüberliegende Schweißseite sehr leicht zu Kerbwirkungen neigt,

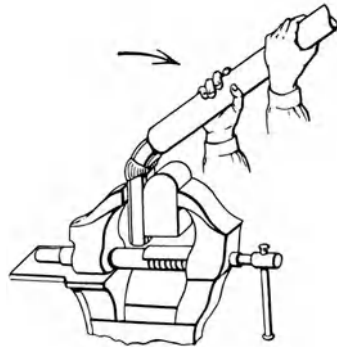


Abb. 149. Schraubstockbiegeprobe für Schweißnähte.

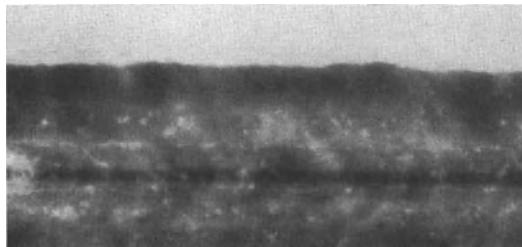


Abb. 150. Röntgenbild einer V-Naht-Lichtbogenschweißung mit kleinen Gasblasen (runde weiße Punkte). Hellere und dunklere Zonen sind Querschnittsunterschiede der Schweißraupe.

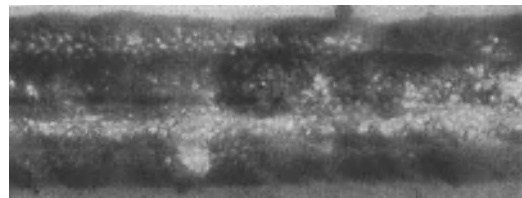


Abb. 151. Röntgenaufnahme einer minderwertigen V-Nahtschweißung mit vielen Gasblasen und Schlacken (kleinere und größere rundliche, weiße Flecken).

weil erfahrungsgemäß in der Spitze einer V-Naht die metallische Vereinigung schwer herzustellen ist.

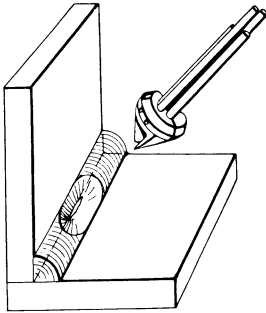


Abb. 152.  
Schmucklerscher Ausfräs-  
apparat für Schweißnähte.

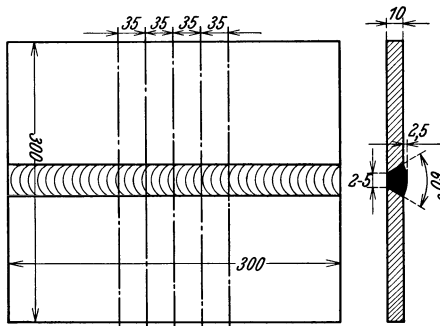


Abb. 153. Stumpfgeschweißte Blechplatten, über deren Schweißnaht die Probestreifen für Zug- und Biegeproben gelegt werden.

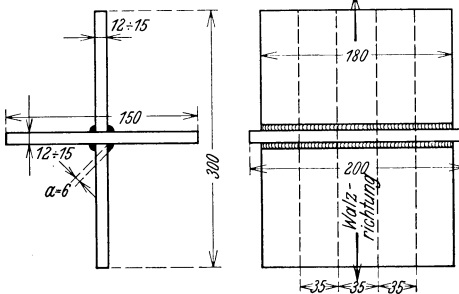


Abb. 154. Eckenschweißung für Zug- und Biegeproben nach Skizze zu entnehmen.

schnitt 28) — die Voraussetzungen wie für die Klangprobe geschaffen werden müssen.

Das Ab- bzw. Ausmeißeln und das Ausfräsen der Schweißnaht ist eine Maßnahme des Abnehmers, die ihn über die Bindung aufklärt und ihm die

Die erste eine Schweißprüfung betreffende Abnahmevorschrift wurde vom Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure in den „Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten“ geschaffen. Diese Vorschrift befaßt sich mit der Prüfung des Schweißers, der Zulassungsprüfung der Auftragnehmer für Bauausführungen geschweißter Hochbauten und schließlich mit der vorliegenden Schweißung selbst. Nach § 10 bleibt die Art der Prüfung der zuständigen Aufsichtsbehörde überlassen. Als Prüfarten werden angegeben:

- a) die Röntgenographie,
- b) das Abklopfen und Abhören,
- c) stichprobeweises Abmeißeln bzw. Ausmeißeln der Schweißnaht,
- d) Ausfräsen der Schweißnähte mit dem Schmucklerschen Prüfgerät.

Daß sich die Röntgenographie vorzugsweise zur Untersuchung von Schweißnähten eignet, geht aus Abschnitt 44 deutlich hervor; ob sie jedoch ohne Ergänzung durch andere Prüfarten eine im vollen Umfange gültige Beurteilung der Schweißgüte gestattet, muß bezweifelt werden (Abb. 150 und 151, s. auch Abschnitt 44).

Das Abklopfen und Abhören hat nur die Bedeutung einer Klangprobe, die jede schlechte Bindung heraushören läßt. Es ist aber zu beachten, daß — um nicht irregeführt zu werden (Ab-



Möglichkeit der Probeauswahl bietet. Die Prüfstellen sind natürlich nach beendigter Besichtigung wieder sorgfältigst zuzuschweißen (Abb. 152).

Will ein Auftragnehmer geschweißte Hochbaukonstruktionen ausführen, so hat er nach § 8 der „Richtlinien“ sein Schweißverfahren, seine Schweißgeräte und den verwendeten Schweißdraht in Gegenwart eines Vertreters der Aufsichtsbehörde eingehend zu prüfen. Hierfür sind einige Probestarten vorgesehen, die das Ergebnis gründlicher technischer Überlegungen sind. Nach Abb. 153, 154 und 155 werden aus Stumpf- und Eckenschweißungen quer über die Schweißnähte Zug- und Biegeflachstäbe geschnitten. Die Schweißraupe wird den Probestäben belassen und bei der Querschnittsberechnung der

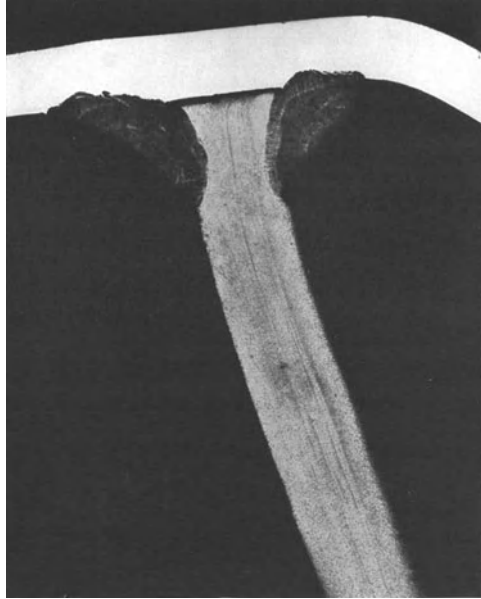


Abb. 155. Schnitt durch eine Eckenschweißung von Flacheisen. Verschweißung von rostfreiem mit C-Stahl.

Querschnitt des ungeschweißten Stabteiles zugrunde gelegt, wobei natürlich vorausgesetzt wird, daß die Schweißwulst überall den Querschnitt des ungeschweißten Stabes erreicht.

Die Biegeprobe wird nach Abb. 156 bei einem Rollenabstand von 50 mm bei der V-Schweißung so gelegt, daß die Öffnung dem Druckstempel gegenüberliegt. Dabei muß ein Winkel von  $60^\circ$  erreicht werden. Werden, wie bei der Deutschen Reichsbahn, außerdem Kerbschlagbiegeproben verlangt, dann ist bei V-Nähten der Kerb in die sehr empfindliche V-Spitze zu legen.

Die Flankenschweißung wird nach Abb. 157 als Probeschweißung für eine Scherprobe ausgeführt. Dazu werden vier Flachstäbe zu einem Probestück zusammengeschweißt, und zwar so, daß je ein Stab mit waagerechter Lage der Schweißnaht und je ein Stab mit senkrechter

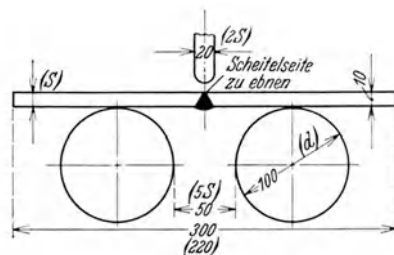


Abb. 156. a) Vorrichtung zur Durchführung eines Schweißbiegeversuches nach den Richtlinien. b) Eingeklammert die Abmessungen, wie sie für die D.R.G. vorgeschrieben sind, dann soll  $d = 50$  mm für Blechdicke bis 12 mm,  $d = 100$  mm für Blechdicke über 12 mm sein.

Lage verschweißt wird. Dann muß die Scherfestigkeit  $24 \text{ kg/mm}^2$  bei einem Werkstoff von  $37$  bis  $45 \text{ kg/mm}^2$  ergeben.

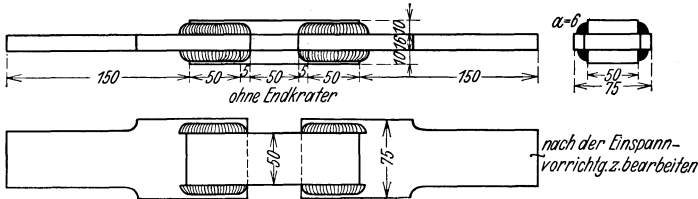


Abb. 157. Skizze für Scherproben als Prüfung der Flankenschweißung.

Die Messung des Formänderungsvermögens, die durch Dehnung und Kontraktion zum Ausdruck kommt, dürfte bei der üblichen Vorbereitung zum Zug- und Biegeversuch nicht genau genug sein, um unzweifelhaft zu beweisen, in welchem Maßstabe sich tatsächlich die Schweißstelle und angrenzenden Zonen gedehnt

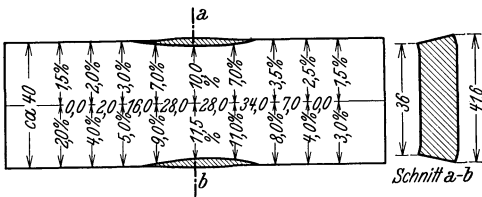


Abb. 158. Ausmessung der Dehnung einer Schweißbiegeprobe bei einer quadratischen oder rechteckigen Einteilung der Schweißzone.

bzw. zusammengezogen haben. Man darf sich daher nicht über den oft erhobenen

Einwand wundern, daß die Verformung eines geschweißten Probestabes durch Zug- oder Biegeversuch nicht als Dehnung bzw. Einschnürung der

Schweißstelle zu gelten habe. Man weiß, daß sich die geschweißte Biegeprobe an der Schweißstelle, die ja dem Dorn anliegen soll, vom Dorn abhebt und je nach der Art der Schweißung die für die Biegung erforderliche Dehnung aus dem angrenzenden weicheren Stabteil holt (Abb. 158, 158 a).

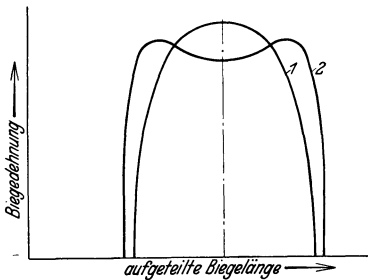


Abb. 158a. Schematische Darstellung der Verformung eines ungeschweißten (1) und eines geschweißten Biegestabes (2). Während ersterer unmittelbar über dem Biegedorn die größte Dehnung aufweist, hat letzterer an der der Schweißung angrenzenden Zone ein Dehnungsmaximum.

Schließlich kommt es bei allen Schweißuntersuchungen doch darauf an, wie weit die Eigenschaften der Vereinigungsstelle denjenigen der verschweißten Werkstoffe gleichkommen. Es ist daher notwendig, in einer etwas umständlicheren Prüfung Klärung zu

schaffen. So werden auf der Flachseite der Proben in der Richtung der Naht Meßmarken mit der Hand oder Teilmaschine flach eingeritzt oder quadratische oder rechteckige Einteilungen hergestellt, die nach dem Versuch eine genaue Ausmessung bzw. Errechnung der Dehnung und

Kontraktion bei Zerreiß- und Biegeproben gestatten. Ist der Stahl oder die Schweiße sehr empfindlich gegen Kerben, dann sollte man die Dehnungsmarken mit Messingnadeln anreißen.

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft schreibt eine recht bemerkenswerte, mechanische Güteprüfung für Verbindungsschweißung vor.

Zwei Blechstücke von Kesselblechgüte — St. 34 normalgeglüht — und Blechdicke  $s = 1,5$  bis  $2 \times$  Drahtdicke werden nach V-förmiger Vorbereitung der Schweißkanten (Kantenwinkel  $60^\circ$ , Blechabstand werkstattmäßig 2 mm) zusammengeschweißt. Blechunterlage auf der Scheitelseite ist zulässig. Aus dem mittleren Teil werden dann die Probestäbe für den Zug-, Falt- und Schmiedeversuch herausgearbeitet.

Die Probe für den Zugversuch ist nach Abb. 159 vorzubereiten. Um die Beanspruchungen beim Versuch in die Schweißzone zu legen, ist die parallele Versuchslänge entsprechend formgemäß zu kürzen. Reicht die Versuchslänge jedoch über die Schweißzone bedeutend hinaus, so ist die gesamte Verformung in

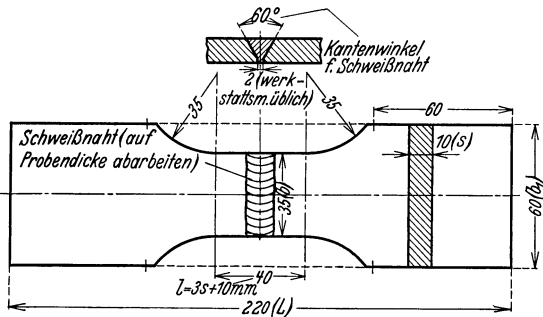


Abb. 159. Form einer Schweißzugprobe, nach den Bedingungen der D.R.G. Sie erfährt nach anderen Bedingungen geringe Abänderungen.

dem zumeist schwächeren Teil des Schweißsystems, dem Grundmaterial, zu erwarten. Die Probe für den Falt- und Schmiedeversuch zeigt folgende Abmessungen:  $L = 220$ ,  $b = 35$  bis  $40$  mm (durchgehend),  $S = 1,5$  bis  $2 \times$  Drahtdicke. Die Versuchsanordnung für den Faltversuch zeigt Abb. 156. Zug- und Faltversuch werden nach DIN. 1605 durchgeführt. (Der Zugversuch ist hier für die Zugfestigkeit, der Faltversuch für die Zähigkeit maßgebend.)

Für die Prüfung auf Schmiedbarkeit ist die Probe auf  $20 \times$  der Probendicke von der Mitte aus so auszuschmieden, daß die Schweißnaht etwa in der Mitte der Länge der ausgeschmiedeten Probe liegt. Der ausgeschmiedete Teil der Probe (etwa 120 mm) muß sich bei Schmiedetemperatur verdrehen lassen, ohne Anrisse zu zeigen.

Die Auftragsschweißung wird durch Spanablösung geprüft. Drei nebeneinanderliegende und zwei übereinanderliegende Schweißraupen werden durch einen 2 mm tief angesetzten Meißel abgehoben. Hierbei dürfen sich weder die einzelnen Schweißlagen teilen lassen, noch Werkstoff und Schweißstoff trennen. Die übereinanderliegenden Raupen werden durch Kugeldruckprobe auf ihre Härte untersucht.

Ganz besondere Beachtung verdienen die Prüfungen zusammengesetzter Rohrenden. Solche Schweißungen werden wohl vorzugsweise neben der Widerstandsschweißung durch das autogene Verfahren ausgeführt. Die geschweißten Rohre füllt man am besten mit Blei oder mit Sand, fest geschüttelt, und unterwirft sie dem vorschriftsmäßigen Rohrbiegeversuch. Hierbei ist mit besonderer Sorgfalt darauf zu achten, daß der Dorn auf die Schweißbraupe drückt. Rohre für überhitzten Dampf werden einer Festigkeitsuntersuchung bei höheren Temperaturen unterworfen. Die Rohrenden werden beim Zugversuch durch eingepaßte Bolzen gefaßt.

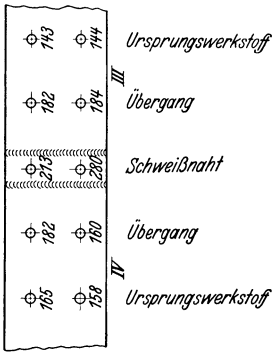


Abb. 160. Härtebeeinflussungen infolge autogenen Schweißens von 2 Rohnteilen.

Während für geschweißte Behälter die Zug- und Biegeprobe entsprechend den betriebsmäßigen Beanspruchungen von vorwiegender Bedeutung sind, wird bei Bauwerken zur Erforschung der dynamischen Verhältnisse geschweißter Probestücke auch die Kerbschlagarbeit, die Dauerschlagarbeit und die Schwingungsfestigkeit heranzuziehen sein. Wenn auch selbstverständlich, so sei doch darauf hingewiesen, daß die örtlichen Beanspruchungen dieser Versuche in die Schweißnaht zu legen sind. Denn die außergewöhnlich starken Schwankungen in den Kerbschlagwerten sind nicht, wie vielfach angenommen, allein auf die Verschiedenheit der Schweißausführung, sondern auf die Lage der Schweißnaht gegenüber dem Pendelhammer zurückzuführen. Die Lage der Kerbe ist so zu bemessen, daß sie von der V-Spitze zur V-Öffnung verläuft; für ihre Herstellung ist die Schweißstelle anzuzätzen, um möglichst die Schweißnaht zu treffen.

Nun werden alle Versuche an geschweißten Werkstoffen Vergleichsversuche darstellen, daher muß bei ihrer Bewertung vorausgesetzt werden, daß sie unter denselben Bedingungen ausgeführt werden wie die entsprechenden Proben der Bezugswerkstoffe.

Es entsteht abnahmeseitig oftmals die Frage, ob nicht noch andere Faktoren bei der Beurteilung einer guten Schweißung maßgeblich sind. So dürften bei bestimmten Schweißungen die Härteunterschiede zwischen den zu schweißenden Teilen und der Schweißnaht selbst und ihren benachbarten Zonen von ausschlaggebender Bedeutung sein; denn es ist zumeist eine Normalisierung geschweißter Werkstücke nicht mehr möglich. Untersucht man einen Schweißprobestab auf seine Härte mit Hilfe der Brinellschen Kugeldruckprobe, so werden sich bei einem guten Härteverhältnis der einzelnen Zonen Unterschiede wie bei den in Abb. 160 geprüften Proben ergeben. Andererseits werden Härteunterschiede von 100% bei Schmelzschweißungen beobachtet. Hieraus folgt,

daß bei unausgeglüht verbleibenden Schweißungen auf etwa auftretende Spannungen konstruktiv und schweißtechnisch Rücksicht zu nehmen ist, soll nicht der Erfolg einer bestimmten Schweißmethode überhaupt in Frage gestellt werden.

Ein besonders schwieriges Gebiet der Schweißtechnik ist die Schweißung von Gußeisen, bzw. Gußeisen mit Stahl und deren Prüfung. Daß hier noch ungeahnte Möglichkeiten vorhanden sind, zeigen die Versuche von M. Gamsa<sup>1</sup> (Abb. 161). Falls sich die geschweißten Probe­stäbe aus Gußeisen durch die Schweißarbeit verziehen, werden die Versuchswerte wegen der zusätzlichen Biegebungsbeanspruchungen stets zu niedrig gefunden.

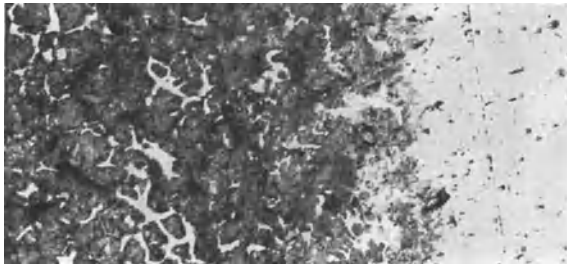


Abb. 161. Gut gelungene Schweiße auf Gußeisen mit A.W.P.-Elektrode. Gußeisen wenig verändert, Schweißgut (hell) korrosionsbeständig.

Endlich sei darauf hingewiesen, daß der Germanische Lloyd, die Reichsmarine und der Zentralverband der Preußischen Dampfkessel-Überwachungsvereine **Sonderbedingungen** für die Schweißprüfung geschaffen haben, die den besprochenen ähneln. Der Zentralverband hat Richtlinien für eine „Verfahrensprüfung“ aufgestellt, die zum Ziele hat, die Höherbewertung einer Schweißung bei Kesseln und Behältern auf 90% des Grundwerkstoffes zuzuerkennen. Es liegt auf der Hand, daß Schweißungen von solchen Werkstücken ein hohes Formänderungsvermögen der Schweißzone aufweisen müssen. Man versucht daher, diejenigen Eigenschaften durch Versuche zahlenmäßig zu erfassen, die die Zähigkeit nachweisen sollen. Durch eine Kalt- und Abschreckbiegeprobe, deren äußere Biegefaser durch Marken auf Schweiß- und angrenzenden Zonen versehen sind, wird die Verformungsfähigkeit gewonnen (Abb. 158). Ähnlich werden auch die Zugproben vorbereitet.

Um die dynamische Verformungsarbeit der Schweiße gegenüber dem Grundstoff festzustellen, wird die Kerbschlagbiegeprobe je nach der Blechdicke als DVM-Probe oder als schmale Normalprobe (30 × 15) verwendet. Sie gilt heute als Kriterium der Gasaufnahme (Sauerstoff-Stickstoff). Da nach Abb. 142 eine Schweiße nicht als

<sup>1</sup> M. Gamsa: Diplomarbeit an T. H. Berlin.

ungeglühtes Gußgefüge gelten kann, so dürfte die Schlagarbeit nicht die krassen Unterschiede des ungeglühten und geglühten Stahlgusses ergeben. Überhaupt kann eine hohe Kerbzähigkeit nur durch Normalisieren bei Luftabkühlung erreicht werden. Auch die Porenbildung, wenn sie ein gewisses Maß nicht überschreitet, beeinflußt kaum nennenswert die Schlagarbeit. Ähnlich verhält es sich bei der Erforschung der dauer-dynamischen Eigenschaften einer Schweißnaht. Bindefehler und fladen-artige Schlacken, wenn sie in der Richtung des Schlages liegen, setzen die Kerbzähigkeit erheblich herab.

### 35. Ketten- und Kettenbaustoffprüfung.

Diese Prüfung wird für sehr wichtige und hochbeanspruchte Ketten, insbesondere für Anker- und Ruderketten in den Bestimmungen der Klassifikationsgesellschaften als unumgänglich vorgesehen. Aber auch

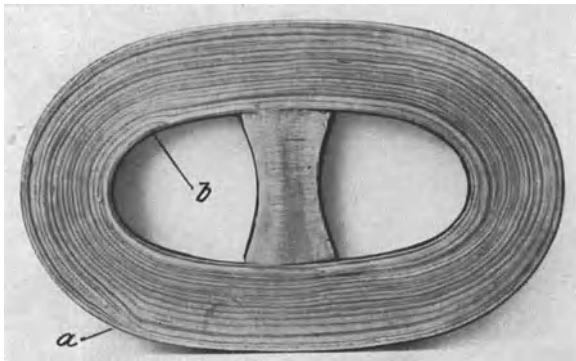


Abb. 162. Längsschnitt durch ein Kettenglied. Der Faserverlauf des Stahles wird durch die geätzte Seigerung deutlich kenntlich gemacht. Das Zusammenrollen bei der Schweißung ist zu verfolgen.

Ketten wie Kran- und Schlingerketten und andere werden gemäß besonderer Vorschrift der Verbraucher in ähnlicher Weise untersucht.

Der zu verwendende Werkstoff selbst aus weichem Flußstahl oder Schweißeisen (Puddelstahl) unterliegt den üblichen mechanisch-technologischen Prüfungen. Nicht selten legt man hierbei besonderen Wert auf die Kerbbiegeprobe, welche die sehnige Struktur eines gerade für diesen Verwendungszweck ausgewählten Baustoffes aufweisen soll. Von gleicher Bedeutung ist dessen Schweißbarkeit, die in der Schweißbiegeprobe nachzuweisen ist (Abb. 162).

Fertige Ketten sind jedoch außerdem einer Bruch- und Reckprobe zu unterziehen. Von Kettenenden einer bestimmten Länge, oder mehreren kurzen aber nach Werkstoff und Arbeitsverfahren zusammengehörigen Ketten werden Enden aus 3 bis 5 Gliedern als Bruchprobe entnommen.

Die Bruchprobe, die in einer den Querschnittsverhältnissen der Kettenlieder entsprechenden Zerreißmaschine durchzuführen ist, besteht in der Belastung des Probekettenendes bis zum Bruch. Für die verschiedenen Kettengliedquerschnitte sind Mindestgesamtbelastungen vorgeschrieben. Hierbei wird ein frühzeitiger Bruch nur dann eintreten, wenn die Schweißung unvollkommen gebunden hat oder wenn ein ungeeigneter Werkstoff die Kerbwirkungen von Materialfehlern infolge der Zug- und Biegebungsbeanspruchungen nicht zu überwinden vermag.

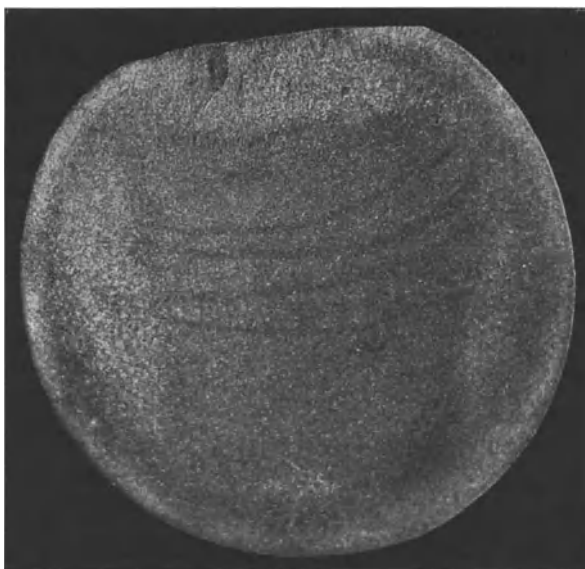


Abb. 163. Kraftwirkungslinien in einem überbeanspruchten Kettenglied. Das Glied ging infolge Beanspruchung über die Streckgrenze zu Bruch.

Erst nachdem die Bruchprobe entnommen ist, wird die ganze Kette einer Reckprobe unterzogen. Auf einer Kettenprüfmaschine mit genügendem Hub wird der Versuch bei einer Belastung ausgeführt, welche die Hälfte der vorgeschriebenen Bruchprobebelastung beträgt. Daraus geht natürlich hervor, daß es sich hier um Spannungen handelt, die in der Nähe der Streckgrenze liegen. Bei der Durchführung dieses Abnahmeversuches dürften gelegentlich geringe, bleibende Verformungen kaum zu umgehen sein; ungenügend geschweißte Stellen werden sich sichtbar lösen.

Wenn Ketten trotz aller Vorprüfungen im Betriebe ohne sichtbare Materialfehler zu Bruch gehen, so ist diese nicht gerade seltene Erscheinung auf Alterung oder Rekristallisation zurückzuführen. Im Betriebe sind Verformungen, besonders an Schlingketten, unvermeidlich. Zeit oder geringe Temperaturerhöhungen werden den zumeist

alterungsempfindlichen, verformten Werkstoff spröde machen (Abschnitt 39, nach W. Püngel<sup>1</sup>). Da aber die Ketten, die auch mehr oder weniger stark verformte Kettenglieder enthalten, in dieser Temperaturlage im Betrieb sind, so können unaufgeklärte Kettenbrüche nicht wundernehmen (Abb. 163).

Die Vorschrift, Ketten nach längerem Gebrauch auszuglühen, hat natürlich nur dann Sinn, wenn die Glühtemperatur den  $A\ 3$ -Punkt überschreitet (Abschnitt 46). Ein Glühen bei  $700^{\circ}\text{C}$ , wie es sogar in einigen Vorschriften vorgeschlagen wird, kann nicht nur nutzlos, sondern sogar schädlich sein, da bei dieser Temperatur bestimmte Reckgrade Kornvergrößerung durch Rekristallisation hervorrufen.

### 36. Prüfung von Federn und Federbaustoffen.

Die praktische Material- und Abnahmeprüfung scheint gerade die Prüfung von Federn und ihren Baustoffen zu vernachlässigen. Dabei ist ihre Bedeutung nicht unbekannt, da Federbrüche die ganze Aufmerksamkeit der Verbraucher und Hersteller täglich auf die Federn lenken. Man überläßt mit einiger Berechtigung den Spezialisten die Sorge um die Aufrechterhaltung und Verbesserung der Qualität.

Nur die Herstellung und Verwendung der Federn für Eisenbahnfahrzeuge werden in Deutschland und anderen Ländern besonders überwacht. In Amerika, dem Land der Automobile, wird auch der Werkstoff- und Bauabnahme der Kraftwagenfedern besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Dies ist erklärlich, denn noch mehr als die Eisenbahnfahrzeugfedern sind die Autofedern stark wechselnden hohen dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt, deren Wirkungen kaum rechnerisch zu erfassen sind. Es ist anzunehmen, daß diese Beanspruchungen sogar in die Nähe der Bruchgrenze gerückt werden, wenn Schienenstöße und Weichen bei Schienenfahrzeugen oder Unebenheiten der Straße bei schienenlosen Fahrzeugen auf die Räder einwirken. Die Feder hat die Aufgabe, solche Beanspruchungen aufzuzehren oder ihre Wirkungen zu mildern.

Als Werkstoff werden höhere Kohlenstoffstähle oder legierte Stähle verwendet. An Legierungszusätzen spielen Mangan, Chrom und Silizium eine bedeutende Rolle. Während den reinen Kohlenstoffstählen im vergüteten Zustande eine gewisse Sprödigkeit zukommt, sind besonders die mit *Mn* legierten Federstähle von hervorragender Zähigkeit.

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft schreibt für den Federstahl, ohne die genaue chemische Analyse anzugeben, im normalisierten Zustand vor: Mindestens  $85\text{ kg/mm}^2$  Festigkeit, 12% Dehnung bei 200 mm Meßlänge; im vergüteten Zustande mindestens  $140\text{ kg/mm}^2$  Zugfestigkeit, mindestens  $110\text{ kg/mm}^2$  Streckgrenze und 5% Dehnung bei 200 mm

<sup>1</sup> W. Püngel: Stahl u. Eisen Jg. 50 Nr. 37 S. 1298.



Meßlänge. Da der Siliziumgehalt zu 1,50 bis 1,80% vorgeschlagen wird, ist hier ein Siliziumstahl gedacht. Es kann erst vergütet werden, wenn der ausgewalzte Stahl seine endgültige Form erhalten hat.

Blattfedern werden vor dem Binden zu Einzelblättern durch den sog. dynamischen Versuch geprüft. Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft macht zu diesem Versuch folgende Angaben:

Ein Stück von etwa 800 mm Länge ist rotwarm (etwa 880°) nach einem Halbmesser von etwa dem 100fachen der Blattdicke zu krümmen und dann zu härten und anzulassen. Dieses federharte Versuchsstück ist zunächst unter einer Presse einmal gerade zu strecken und zu entlasten; hierbei ist die Pfeilhöhe zu messen.

Sodann ist das Versuchsstück unter Zwischenlegen eines Auflagestückes von 100 mm Länge 60mal in etwa einer Minute unter einem Hammer oder einer Presse bis zur waagerechten Lage durchzudrücken. Beim zweiten Versuch darf keine bleibende Änderung der Pfeilhöhe eintreten. Die Auflagevorrichtung für die Enden des Federblattes soll beweglich und so beschaffen sein, daß das Federblatt während des Versuches ohne Reibung aufliegt (Abb. 164).

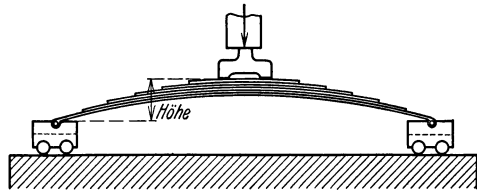


Abb. 164. Einfache Prüfeinrichtung für dynamische und statische Versuche. Die Enden der Federn müssen sich auf Rollen möglichst frei bewegen können.

Ein ähnlicher dynamischer Versuch wird an fertig gebundenen Federn vorgenommen. Die Feder ist nach dem Setzen und Messen der Federhöhe unter einer Federprüfmaschine für dynamische Prüfung etwa 60mal in der Minute zu drücken. Die Belastung ist hierbei so zu wählen, daß der Federhub bis auf 2 mm erschöpft wird, so daß die Feder keine Prellschläge erhält. Nach der Prüfung und nachdem der Feder der Sprung genommen ist, muß die ursprüngliche Federhöhe wieder vorhanden sein. Die Prüfmaschine muß eine Hubablesevorrichtung haben.

Außerdem wird noch ein statischer Durchbiegeversuch vorgenommen, der auf jeder Biegemaschine mit Belastungsanzeige durchgeführt werden kann. Bei diesem Versuch müssen die Federn eine vorgeschriebene Durchbiegung bei vorgeschriebener Belastung erreichen, ohne nach Entlastung die ursprüngliche Federhöhe bleibend geändert zu haben.

Dieser statischen Prüfung werden auch alle Arten von Spiral- und Schneckenfedern unterworfen, da das Verbleiben der ursprünglichen Höhe Voraussetzung für das gleichmäßige Tragen der Federn ist.

Als zusätzliche Prüfung gilt noch die Härteprüfung. Es werden 370 bis 430 Brinelleinheiten für einen einwandfreien Federstahl gefordert. Da die Prüfungsbedingungen sehr häufig Änderungen unterliegen, sind

sie bei Annahme eines Auftrags genau festzustellen; denn nicht selten enthalten sie unerfüllbare Forderungen an Eigenschaften, die nur gewissen Werkstoffen zukommen.

### 37. Prüfung von Gußeisen (Grauguß).

Die Prüfung von Gußeisen nimmt in den Vorschriften eine Sonderstellung ein und bedarf daher einer eigenen Besprechung. Der Grauguß,

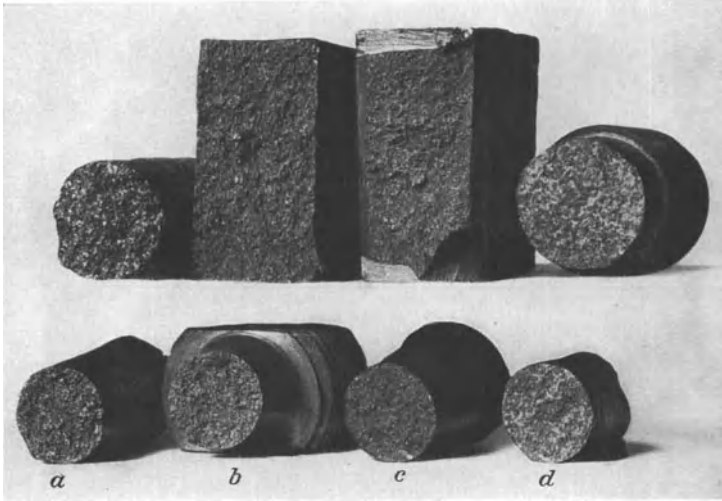


Abb. 165. 4 Gußeisensorten, oben Brüche aus Biegeproben, unten Brüche aus Zugproben. *a* Besonders grobkörniger Guß, ferritisch; Graphit läßt sich hier aus bearbeiteter Fläche ausbürsten, Zugfestigkeit 8 kg/mm<sup>2</sup>, Biegefestigkeit 18 kg/mm<sup>2</sup>; Härte 105 H. *b* Zylinderguß, perlitisch-ferritisch, Zugfestigkeit 22 kg/mm<sup>2</sup>, Biegefestigkeit 36 kg/mm<sup>2</sup>, Härte 175 H. *c* Stabilguß, rein perlitisch, feinste Graphitblättchen, Zugfestigkeit 34 kg/mm<sup>2</sup>, Biegefestigkeit 55 kg/mm<sup>2</sup>, Härte 185 H. *d* Rein perlitischer Guß, mit Weißisenflecken durch zu schnelle Abkühlung, Zugfestigkeit 30 kg/mm<sup>2</sup>, Biegefestigkeit 46 kg/mm<sup>2</sup>, Härte 220 H. (s. a. Abb. 167–170).

der nach dem Eisenkohlenstoffschaubild ein abweichendes System darstellt, besitzt Eigenschaften, die ihm einen bestimmten Verwendungsbereich zuweisen. Seine Eigentümlichkeit, Graphit als inhomogenen Bestandteil auszuscheiden, verleiht ihm eine gewisse Sprödigkeit neben einer mittleren Härte, aber geringen Festigkeit. Wird wegen sehr schneller Abkühlung die Graphitbildung verhindert, so daß der den Graphit darstellende reine Kohlenstoff homogener Bestandteil des Eisens bleibt, dann wird statt Grau- nur Weißisen gebildet, das wegen seiner hohen Härte bzw. Unbearbeitbarkeit nur ein eng begrenztes Verwendungsgebiet finden konnte.

Das Gußeisen wird in verschiedener Güte hergestellt. Diese ist zunächst von der Größe, Art und Verteilung des Graphits abhängig.

Ferner werden sein Gefügezustand und etwaige Legierungsbestandteile, sowie Verunreinigungen für sein mechanisch-technologisches Verhalten verantwortlich gemacht. Die Graphitbildung wird mit steigendem Siliziumgehalt außerordentlich gefördert. Ein höherer Phosphorgehalt, mit etwa 0,2% beginnend, läßt dagegen den Graphit in Nestern erscheinen, wodurch der Zusammenhang des Werkstoffes wesentlich verringert wird. Es mag als feststehend angesehen werden, daß lange, stark ausgeprägte Graphitblätter, sowie die Menge und unregelmäßige Verteilung des Graphits überhaupt alle den Grauguß auszeichnenden Eigenschaften wesentlich herabmindern. Für

reibende, auf Abnutzung beanspruchte Maschinenteile ist andererseits eine gut verteilte und kleinblättrige Graphitausscheidung wegen ihrer schmierenden Wirkung erwünscht. Für die Verschleißfestigkeit ist außerdem der perlitische Aufbau des Gußeisens maßgebend, während der ferritische nur geringen Verschleißwiderstand bietet. Erhöhter Phosphorgehalt wirkt schmirgelnd und daher schädlich in reibenden Teilen. In Abb. 165 werden Brüche aus Werkstoffen mit 8 bis 34 kg/mm<sup>2</sup> gezeigt. Entsprechende Gefügebilder sind in Abb. 167 bis 170 wiedergegeben. Wärmeführende

und wärmeberührende Teile müssen eine ähnliche Graphitausscheidung aufweisen, wenn sie durch Flansche eng verbunden werden sollen, da nur feinkörniges Gußeisen wachstumbeständig ist, während das Volumen von grobkörnigen Gußeisen durch Wärme erheblich abnimmt. Es ist trotz mannigfacher Versuche unmöglich, von der Festigkeit auf die Härte oder umgekehrt zu schließen; denn die Festigkeit wird in erster Linie von Menge und Art der Graphitausscheidung, die Härte dagegen von der Zusammensetzung der Grundmasse (Ferrit, Perlit) etwa nach Abb. 166 beeinflusst.

Im letzten Jahrzehnt ist mit außerordentlichem Erfolge Gußeisen mit hohen mechanischen Eigenschaften hergestellt worden. Hierbei ist das Vorhandensein einer perlitischen Grundmasse grundlegende Voraussetzung. Bekannt ist der Lanzsche Perlitguß und der Borsigsche Stabilguß, die gewöhnlichen Graugußsorten auffällig überlegen sind. Ohne auf die chemische Zusammensetzung einzugehen, seien nachfolgend Vergleiche zwischen dem Borsigschen Stabilguß und anderen Gußeisensorten gezogen, woraus die Überlegenheit eines perlitischen Sondergußeisens unzweideutig hervorgeht.

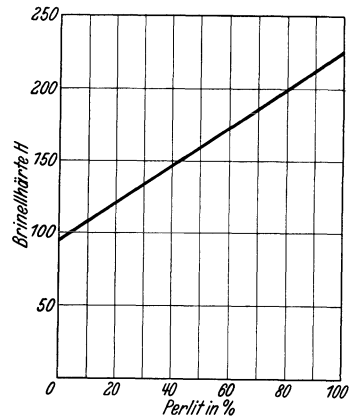


Abb. 166. Abhängigkeit der Härte vom Perlit im Grauguß.

Benennung	Zugfestigkeit	Biegefestigkeit	Brinellhärte bei 1000/10/30
Stabilguß . . . . .	34 kg/mm <sup>2</sup>	55 kg/mm <sup>2</sup>	185 H
Bisheriger bester Zylinderguß	22 „	36 „	175 H
Maschinenguß . . . . .	16 „	29 „	150 H
Gewöhnlicher Grauguß . . .	8 „	18 „	105 H



Abb. 167. Überwiegend ferritisches Gefüge mit langen Graphitadern und Verunreinigungen (Maschinenguß). (Geringe Härte, niedrige Festigkeit.) S. auch Abb. 165 a.

Abb. 168. Perlitischer Guß mit langen Graphitadern (gewöhnlicher Zylinderguß). (Mittlere Härte, geringere Festigkeit.) S. auch Abb. 165 b.

Abb. 169. Rein perlitischer Guß mit feinem Graphitnetz (Sonderguß). (Mittlere Härte, hohe Festigkeit.) S. auch Abb. 165 c.

Abb. 170. Zylinderguß mit weißen Zementitflecken (erhöhte Härte, geringere Festigkeit). S. auch Abb. 165 d.

Bemerkung: Der Zementit durchkreuzt die Graphitadern, der freie Kohlenstoff wurde im Eisen gebunden (Abb. 170), der Ferrit lagert sich nach Abgabe des Kohlenstoffs in freier Form längs der Graphitadern (Abb. 167).

Aus Abb. 169 läßt sich die günstige Graphitform, die neben der feinen perlitischen Grundmasse den denkbar höchsten Widerstand gegen Zug, Druck, Verschleiß und Korrosion gewährleistet, erkennen. Abb. 167 zeigt im Gegensatz dazu das Gefügebild eines Maschinengusses mit groblätterigem Graphit und einer grobperlitisch-ferritischen Grundmasse.

Unbeachtet bleibt häufig der Einfluß der Wanddicke bzw. der Probestabdicke auf die Erhöhung der Graphitbildung und damit auf die Festigkeitseigenschaften des Gußeisen. Abb. 69 zeigt die Brinellhärten an vier verschiedenen Eisensorten, in den verschiedenen Wanddicken an aufgeschnittenen Keilen untersucht. Ebenso wie der Stahl und andere Werkstoffe wird auch das Gußeisen von Verunreinigungen ungünstig beeinflusst. Häufig bemerkt man im Probestab kleinere oder größere Gasblasen, in denen sog. Schwitzkugeln eingelagert sind. Solche Stäbe können wegen der unkontrollierbaren Querschnittsschwächung

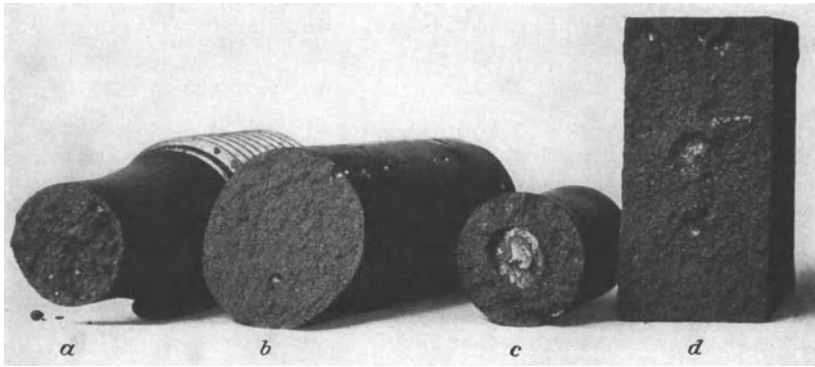


Abb. 171. Versager von Gußeisenproben. *a* Zugprobe aus Maschinenguß mit vielen Schwitzkugeln. *b* Biegeprobe mit Gasblasen in der Mitte und der unbearbeiteten Oberfläche. *c* Zugprobe mit einer zentral gelegenen großen Schwitzkugel. *d* Vierkantbiegeprobe (nach British Standard) mit großen und kleinen Gasblasen.

zum Versuch nicht zugelassen bzw. als vollendeter Versuch nicht beurteilt werden. Man kann nicht aus ihrem Vorhandensein, wie man dies bei Strahlschädlingen mit gewisser Berechtigung zu tun pflegt, auf die Qualität des Gusses schließen (Abb. 171).

Andere oft beobachtete Materialfehler sind zonenweise oder regelmäßig verteilte weiße Stellen<sup>1</sup> im Grauguß, die einen harten Werkstoff (Weißeisen) sichtbar machen. Nach Harmecker können solche Eisenkarbide durch Glühen bei 1050° in Temperkohle und Eisen zerlegt werden, um sie bearbeitbar zu machen. Auf jeden Fall läßt sich solch halbweißes Gußeisen bei langem Ausglühen in Holzkohle oder Koks bearbeitbar machen.

Die größte Sorgfalt hat jeder Hersteller den Probeangüssen zuzuwenden, will er nicht seinen Grauguß wegen schlechten Ausfalls der Versuchsergebnisse ungünstiger beurteilt wissen, als er tatsächlich ist. Zunächst ist der Probestab denselben Gießbedingungen zu unterwerfen wie das dazugehörige Werkstück selbst. Sein Querschnitt sollte nie über den mittleren Querschnitt der Gußstücke hinausgehen. Dies wird

<sup>1</sup> Oberhoffer: Das technische Eisen S. 548.

wohl vorteilhaft immer dann erreicht, wenn für Zugversuche ein Anguß gewählt wird. Ein Stab nach Abb. 19 würde vorteilhaft bearbeitet der Prüfung zugeführt werden. Auf eine zylindrisch gestaltete Länge kann verzichtet werden, da Formänderungen nicht zu erwarten sind. Geringere Querschnitte von Probestäben sind für den Ausgang des Versuchs ebenso nachteilig wie jede unnötige Verlängerung des zylindrischen Probeiles. Dort wird ein Werkstoffehler einen größeren Prozentsatz des Querschnittes ausmachen und damit seine ungünstige Beeinflussung entsprechend erhöhen; hier wird die Wahrscheinlichkeit, fehlerhafte Stabteile anzutreffen, näher gerückt.

Der Zugstab muß mit größerer Sorgfalt bearbeitet werden, als dies bei Probestäben aus weichem Stahl zu geschehen pflegt, da Grauguß gegen Drehriefen oder sonstige Bearbeitungsmängel sehr empfindlich ist.

Leisten die Einspannvorrichtungen keine Gewähr für zentrische Beanspruchungen des Zugprobestabes, dann werden häufig infolge Biegebungsbeanspruchungen frühzeitige Brüche eintreten. Diese Gefahr wächst mit der Probelänge.

Die in einigen Werkstoffvorschriften vorgesehene Gußbiegeprobe mit einer Auflagerung von 600 mm und einem Durchmesser von 30 mm wird mit Gußhaut oder bearbeitet geprüft. Bei Proben mit Gußhaut dürften die Werte etwas höher liegen, sind aber unzuverlässiger, da vollkommen kreisrunde Querschnitte zumeist nicht angeliefert werden können. Unrunde oder ungleichmäßige Querschnitte sollten unbearbeitet nicht zum Versuch gelangen, weil sonst Zonen ungünstigerer Materialzustände gerade von der Biegebungsbeanspruchung erfaßt werden. Bei Probestäben aus geteilten Formen muß der Druck senkrecht zur Ebene der Gußnaht gerichtet sein.

Nach British Standard wird eine Vierkantbiegeprobe vorgeschrieben, die bei einer Auflagerung von 914 mm und einem Querschnitt von  $25 \times 50$  hochkant bei einer bestimmten Durchbiegung eine vorgeschriebene Last ertragen muß. Erwähnenswert ist auch der vom Bureau Veritas vorgeschriebene praktische kleine Biegestab mit einem Querschnitt  $8 \times 10$  mm und 30 mm Auflagerung. Die Bruchteile dieses Biegestabes finden gleichzeitig als Scherprobe Verwendung.

Da das Gußeisen eine bleibende Formänderung ohne Bruch nicht zuläßt, war man genötigt, statt der Biegefähigkeit die Biegefestigkeit — das ist der Widerstand gegen seine elastischen Verformungen — einzusetzen. Dieser errechnet sich nach der Formel:

$$Kb = \frac{P \cdot l}{4 \frac{\pi}{32} d^3} = c \cdot P \text{ kg/mm}^2.$$

Hierin ist  $P$  = Belastung. Bei  $d = 30$  mm Durchmesser des Biegestabes und  $l = 600$  mm Auflagerung wird  $c = 0,567$ .

Bekannt ist, daß neuerdings internationale Bestrebungen dahin gehen, eine Stanz- oder Scherprobe als maßgebenden Versuch zur Ermittlung der Gußeiseneigenschaften einzuführen. Als Abnahmevorschrift gilt bisher nur der vom Bureau Veritas neu aufgenommene einschnittige Scherversuch. Diese Probe bietet Gelegenheit, bei geringem Materialaufwand mit einem einzigen Stab eine Anzahl Versuche auszuführen, deren Mittelwert eine gute Übersicht verschafft, und als Hohlbohrproben die Festigkeitseigenschaften der ganzen Wanddicke klarstellen.

Der am meisten angewendete und zur Härtedifferenzierung reibender Flächen notwendige Versuch ist die Brinellsche Kugeldruckprobe. Da sie zu unrunder Eindrücken bei Gußeisen neigt, bedarf sie hier einer besonders sorgfältigen Durchführung (Abschnitt 14). Merkwürdigerweise werden die Belastungen keineswegs einheitlich genommen, so daß Härtezahlen zum Vergleich näherer Versuchsangaben bedürfen. Kugeldruckproben in Hohlkörpern oder anderen schwer zugänglichen Teilen verursachen Versuchsschwierigkeiten. Man könnte sich der Differentialmethode (Abschnitt 14 bis 16) oder der Kugelschlagapparate bedienen, die bei einiger Übung des Prüfers brauchbare Vergleichswerte liefern.

Aus Kugeldruckversuchen an Gußeisen mit Lunkern oder harten, weißen Stellen können maßgebliche Vergleichswerte nicht gewonnen werden, da hier Unterschiede von mehr als 100 Brinelleinheiten gemessen werden.

### 38. Prüfung des mechanischen Alterns.

Wie unter Glühen (Abschnitt 46) dargelegt und begründet, verlangen die Abnahmevorschriften grundsätzlich das Ausglühen eines kalt- oder

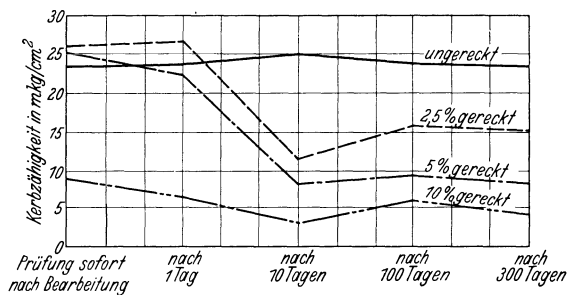


Abb. 172. Alterungsversuch (nach Kühle).

warmverarbeiteten Werkstoffes. Nun gestatten aus technischen Rücksichten nicht alle Werkstoffe ein erneutes Ausglühen nach ihrer Verarbeitung. Sie verbleiben unter den Folgen mehr oder weniger ungünstiger Bearbeitungseinflüsse, die jedoch noch durch das sog. „Altern“ wesentlich gesteigert werden können.

Die „Alterung“ ist diejenige Eigenschaftsänderung eines kaltverformten Werkstoffes, die nach längerem Lagern oder einem gewissen Anlassen des Werkstoffes durch verminderte Kerbzähigkeit gekennzeichnet wird. Nach eingehenden Versuchen erkannte man die besondere Neigung einiger weicher Flußstähle, solchen starken Eigenschaftsänderungen zu unterliegen. Kein Wunder, daß sich die Fragen bezüglich hochbeanspruchter Kesselbaustoffe auch auf den Einfluß des Alterns erstreckten. Diese merkwürdige Erscheinung dürfte durch die auf diesem Gebiet einsetzende Forschung für die Praxis an Bedeutung gewinnen.

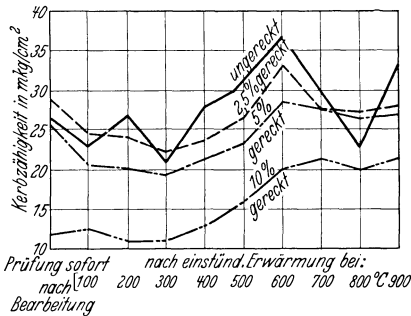


Abb. 173. Alterungsversuch durch Anlassen auf verschiedene Temperaturen (nach Kühle).  
 — ungereckt; — 5 % gereckt;  
 - - - 2,5 % gereckt; ····· 10 % gereckt.

Neuerdings versuchen nun in- und ausländische Abnahmevorschriften oder Sonderabmachungen, wenn gleich nur tastend, die Alterungsbeständigkeit bestimmter Werkstoffe in den Kreis der Beurteilung einzubeziehen. Als zuverlässiger Versuch gilt hierfür der Kerbschlagbiegeversuch.

Der Eintritt des Alterns wird dann beobachtet, wenn ein verformter Werkstoff bestimmte Zeit lagert oder erhitzt wird. Durch Lagern fallen die kennzeichnenden Kerbzähigkeitswerte in den ersten 10 Tagen

rapid ab, um dann, manchmal sich etwas erholend, einem Mindestwert zuzustreben (Abb. 172). Wird die Alterung durch Anlaßhitze zwischen 100 und 400° erzeugt, dann ist vorzugsweise bei dem Temperaturintervall von 200 bis 300° und bei einer Verformung bis zu 10% ein Steilabfall der Schlagarbeit zu erwarten. Mit weiter zunehmender Verformung wächst zwar allmählich die Kerbsprödigkeit, diese erscheint aber für die Prüfung ungeeignet. Die den Versuchen der Abb. 173<sup>1</sup> zugrunde gelegten Kerbschlagproben hatten die Form 10 × 10 × 70 erhalten. Aus Abb. 173, 174 erkennt man deutlich ein bestimmtes Temperaturintervall, das die Eigenschaften eines Werkstoffes maßgebend beeinflusst. Bei 500 bis 600° werden die Wirkungen der Alterung bei manchen Reckgraden fast aufgehoben. Allein bei 700 bis 800° tritt ein neuer Steilabfall ein, der als Rekristallisation angesprochen werden muß.

Es ist zwischen künstlicher Alterung und Rekristallisation wohl zu unterscheiden. Hier handelt es sich um einen bestimmten kritischen Verformungsgrad, der zwischen 8 und 20% liegt, und einer verhältnismäßig hohen Rekristallisationstemperatur, dort um die Wirkungen beliebiger Verformungsgrade mit niedriger liegenden Anlaßtemperaturen.

<sup>1</sup> Mitt. Forsch.-Inst. verein. Stahlwerke, Dortmund 1929.



Die Rekristallisation, zumeist Kornvergrößerung, wird noch dicht unter dem  $A_c 3$ -Punkt beobachtet, während die künstliche Alterung bei Temperaturen unterhalb  $A_c 1$  als beendet anzusehen ist (Abb. 174).

Nur die Kerbschlagprobe gibt, wie eingangs angedeutet, eine sichere Gewähr für die Feststellung der Alterungsneigung eines Werkstoffes. Es hat sich aber durch umfangreiche Versuche herausgestellt, daß der Probeform eine bedeutende Rolle zufällt. Nach den Versuchen N. Berndts (Abb. 175<sup>1</sup>) ist es keineswegs gleichgültig, welcher Probeform man den Vorzug geben soll. Nach Abb. 175 geben die als internationale Normalprobe bekannte Form  $30 \times 30 \times 160$  und die kleineren Formen IX, X und XI in ihren Ergebnissen keine genügende

Differenzierung, um einen Werkstoff endgültig als alterungsbeständig oder alterungsanfällig zu bezeichnen. Der Hinweis auf das verschiedenartige Verhalten der Kerbschlagproben bei zwei verschiedenen Flußstählen ist um so bedeutsamer,

als es sich gerade um jene unmaßgeblichen Probeformen handelt, die zur Erforschung der Alterung zumeist herangezogen werden; deshalb sollten dünnwandige Bleche, Bohrlochausschnitte, Rohre und dergleichen, soweit sie keine zuverlässige Probeform hergeben, bezüglich Alterung nicht geprüft werden. Jungbluth schlägt hierfür die Ätzung auf Kraftwirkungslinien (Abschnitt 40) vor.

Die Alterung eines Werkstoffes auszuschalten oder wenigstens abzuschwächen, liegt zunächst in der Hand des Stahlerzeugers. Nicht nur durch Legierungen, sondern auch durch besondere Behandlung des Stahlbades wird der Weg zu alterungsbeständigem bzw. alterungsschwachem Werkstoff gewiesen. Das als Kesselbaustoff bekannte I-Zett-Eisen kann als alterungsbeständig angesehen werden. Der Versuch nach

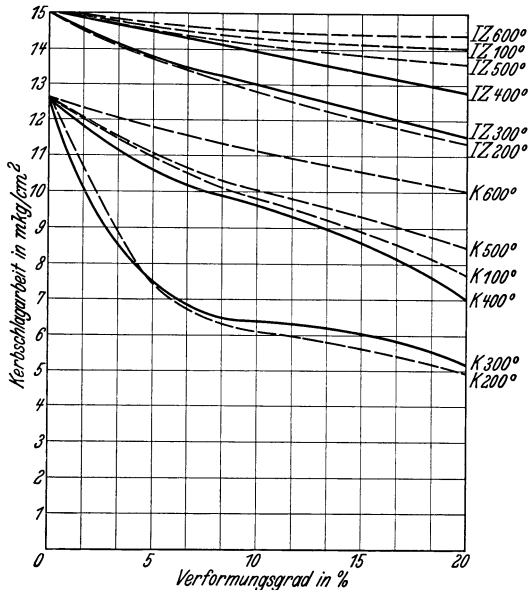


Abb. 174. Vergleichsuntersuchungen zwischen gealtertem IZ-Eisen und gewöhnlichem gealtertem Kesselblech. Die Versuchsproben hatten die Abmessung  $10 \times 10 \times 70$ . — IZ = IZ-Eisen, K alterungsanfälliger Kesselbaustoff. — — — die bevorzugte Alterungsstufe; — — — die geringeren Alterungsstufen.

<sup>1</sup> N. Berndt: Kruppsche Mh. (Juli 1930) S. 180.

Abb. 175 läßt keinen Zweifel darüber bestehen, daß hier ein für hohe Alterungsbeanspruchungen ausgezeichnete Werkstoff vorliegt. Desgleichen sind nicht minder manche legierte Stähle sehr widerstandsfähig

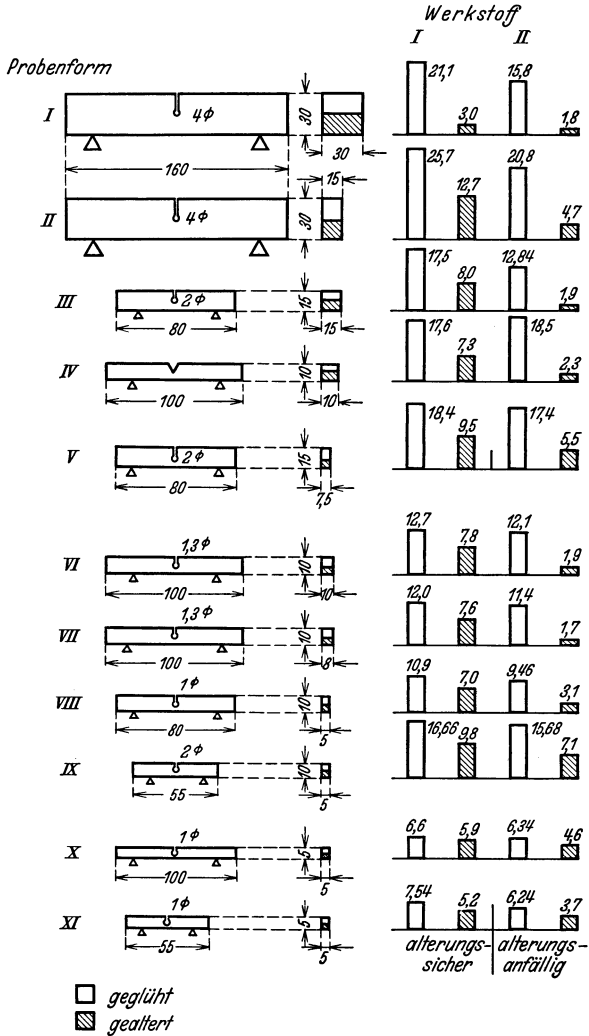


Abb. 175. Alterungskerbzähigkeit zweier Flußeisensorten in Abhängigkeit von der Probeform (nach Berndt).

gegen Alterungseinflüsse. Nach den Feststellungen von Pröpper-Pohl ist der Molybdänstahl gleichfalls ein erstklassiger alterungssicherer Kesselbaustoff.

Das eifrige Suchen nach geeigneten Kesselbaustoffen läßt erhoffen, daß die Folgen der Formgebung von Kesselteilen, des Einwalzens von

Rohren in Trommeln und Wasserkammern und des Einpressens der Niete auf ein Mindestmaß herabgedrückt werden. Die Abnahmevorschriften sollten bis dahin keine unzweckmäßigen Alterungsprüfungen einführen, sondern orientierend die Entwicklung verfolgen.

### 39. Prüfung der Eigenschaftsänderung durch Rekristallisation.

Die Rekristallisation ist offenbar eine der wichtigsten und merkwürdigsten Erscheinungen der Technik und um so beachtenswerter, je höher die Werkstoffe beansprucht werden; denn Rekristallisation als Kornvergrößerung ist für den Praktiker eine bedenkliche Werkstoffkrankheit, deren Verhinderung oder Heilung eine wichtige Aufgabe ist. Der Werkstoffprüfung oder Abnahme wird ihre Feststellung naturgemäß zumeist entgehen, da ihr Auftreten nicht bei der Probeentnahme, sondern nach Inbetriebnahme eines Werkstückes zu erwarten ist.

Werden die Formen mancher Metalle bei einer genügend tiefen Temperatur geändert, dann pflegen sie sich zu verfestigen bzw. kalt zu härten. In solchen kaltbearbeiteten Metallen zeigen auch die Kristalle entsprechend dem Grade und der Art der Gesamtverformung deutliche Merkmale der Reckung, Stauchung oder Quetschung. Werden diese Kristalle bei einer bestimmten Temperatur, deren Höhe vom Grade der Verformung abhängig ist, erhitzt, dann entstehen merkwürdige Korneubildungen, die als Rekristallisation bezeichnet werden. Die Temperatur, bei der eine Korneubildung eingeleitet wird, ist die Rekristallisationstemperatur. Den für eine bestimmte Rekristallisationstemperatur günstigsten Verformungsgrad nennt man den kritischen Verformungsgrad. Dieser liegt bei weichem Stahl bei etwa 10 bis 12%.

Bemerkenswert ist, daß durch die Rekristallisation, obgleich es sich nicht um Umwandlungen handelt, die Merkmale der Kaltbearbeitung (Abschnitt 45) zum größten Teil aufgehoben werden. Zwecks Unterscheidung müssen die Begriffe einer Neu- und Umbildung, also von Rekristallisation und Umkristallisation rückhaltlos auseinandergehalten werden.

Nach Oberhoffer ist eine Neubildung von Kristallen bei Stahl unterhalb  $A_c 3$  als Rekristallisation und die Umwandlung über  $A_c 3$  als Umkristallisation aufzufassen. Nach der allgemeinen technischen Auffassung erwartet man durch das Eintreten der Rekristallisation eine Kornvergrößerung gegenüber dem Ursprungsgefüge. Zuweilen möge trotz des Vorhandenseins der für die Rekristallisation nötigen Vorbedingungen ein Kornwachstum nicht beobachtet werden; die Neubildung von Kristallen aus den verformten und zertrümmerten alten kann aber trotzdem vorhanden sein (Abb. 176 und 177).

Jedes Metall hat eine bestimmte Rekristallisationstemperatur, deren Beginn bei nachfolgenden Metallen verschieden liegt (Zahlentafel 13<sup>1</sup>).

Zahlentafel 13.

Metall	Angenäherte niedrigste Rekristallisations- temperatur °C
Stahl . . . . .	450
Nickel . . . . .	660
Kupfer . . . . .	200
Aluminium . . . . .	150
Magnesium . . . . .	450
Wolfram . . . . .	1200
Molybdän . . . . .	900
Zink . . . . .	Raumtemperatur
Blei . . . . .	unter „
Zinn . . . . .	„ „

Ohne auf die noch nicht vollständig geklärten Ursachen der Rekristallisation einzugehen, sei zu den angedeuteten Voraussetzungen und Erscheinungen einiges gesagt. Die Rekristallisationstemperatur liegt um so niedriger, je größer der Betrag der Formänderung, je kleiner das Korn vor der Kaltbearbeitung und je niedriger die Verformungstemperatur ist. Andererseits aber wächst mit der Temperatur das Kornwachstum. Die Glühdauer wirkt sich als Glühen bei höheren Temperaturen aus. Ver-

unreinigungen oder Legierungselemente, auch Kohlenstoff hemmen das Kornwachstum, und zwar entsprechend ihrer Menge.

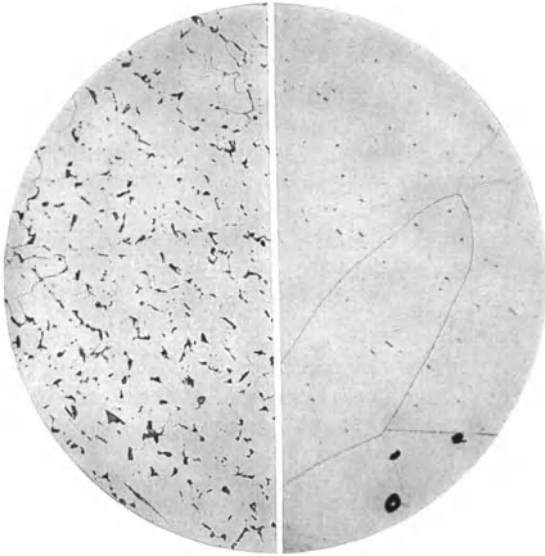


Abb. 176.

Abb. 177.

Abb. 176. Normalisiertes Kesselblech.

Abb. 177. Dasselbe wie in Abb. 176, jedoch nach Kaltverformung durch Bördelung und örtlicher Erhitzung rekristallisiert in sehr großem Korn.

Nach Pomp und Körber führte das Recken eines Weich Eisens um etwa 10%, das als kritischer Verformungsgrad gefunden wurde, bei einem nachfolgenden Glühen bei 800° zu einer auffallend starken Verschlechterung des Eisens. Außer der Dehnung hatten sich durch das ungewöhnliche Kornwachstum sämtliche Eigenschaften so ungünstig verändert, daß die Rekristallisation als äußerst bedenklich bezeichnet werden muß.

Es ist selbstverständlich, daß die Wirkungen der Rekristallisation

durch Glühen über  $A_c 3$  aufgehoben werden. Allein diese Maßnahme ist aus technischen Gründen nicht immer am Platz.

<sup>1</sup> Nach Zay Jeffris u. R. S. Archer: Chem. Met. Ingg. 27 S. 343f.

## 40. Prüfung des Werkstoffes durch die Fryschen Kraftwirkungsfiguren.

Bisweilen beobachtet man bei mechanisch-technologischen Prüfungen auf der polierten Oberfläche eines über die Streckgrenze beanspruchten Probestabes matt aussehende Figuren, die als spitz auslaufende, am Ende etwas gekrümmte Linien die Beanspruchungsachse meist unter  $45^\circ$  schneiden. Es gelang Fry, diese als Fließ- oder Hartmannsche Linien bekannten Erscheinungen durch ein neues Ätzverfahren mit Sicherheit im Schnitt eines beanspruchten Stückes makroskopisch sichtbar zu machen.

Bis vor einem Jahrzehnt war man nicht immer in der Lage, Kesselbrüche auf Grund chemischer und metallographischer Feststellungen einwandfrei zu erklären. Es zeigte sich wiederholt, daß trotz gewissenhafter Untersuchung gewisse Fragen offen blieben. Die Firma Krupp hatte viele derartig untersuchte Werkstoffe, deren Versagen nicht befriedigend gedeutet werden konnte, nach Fry erneut untersucht. Hierbei wurden die kennzeichnenden Kraftwirkungslinien in mehr oder weniger starkem Maße deutlich wahrgenommen. Nach gründlichem Studium der Verhältnisse hatte man erkannt, daß den neu entdeckten Kraftwirkungslinien beachtliche Bedeutung in der Erkenntnis von Bruchursachen, insbesondere an Nietlöchern zukommt.

Diese neuartige makroskopisch sichtbare Ätzerscheinung wurde nicht nur an im Betriebe unbrauchbar gewordenen Werkstoffen festgestellt, sondern auch neue etwa in einer Walze gerichtete oder gekrümmte Bleche zeigten nach Erwärmung auf  $200^\circ$  deutlich kristallographische Veränderungen in den Kraftwirkungslinien. Ihr Auftreten setzt demnach eine plastische Verformung mit nachfolgender Erwärmung von  $200^\circ$ , wie im Kesselbetrieb häufig, voraus. Dieselbe Erscheinung wird aber auch bei einer Verarbeitung bei  $200^\circ$  wahrgenommen.

Die Kraftwirkungslinien sind aber nicht den durch unmittelbare Schlag- oder Stoßwirkung hervorgerufenen, häufig beobachteten mikroskopischen Gleitlinien gleichzustellen, deren Richtung an den Korngrenzen geändert wird. Sie überqueren vielmehr unter einem Winkel von  $45^\circ$ , manchmal auch rechtwinklig zur Kraftwirkung — geradlinig und an der Spitze leicht gebogen — eine große Anzahl von Kristallen, wobei sie sich vielfach überschneiden (Abb. 178 und 179). Nach Fry sind diese dunklen Kraftwirkungsstreifen nicht im wesentlichen auf Kornzerfall oder Korngrenzenstörungen zurückzuführen, sondern auf äußerst feine das ganze Innere der Kristalle durchsetzende Störungen, die als mikroskopische Rutschvorgänge in den Kristallen angesprochen werden.

Es ist von großer Wichtigkeit, daß nicht alle weichen Flußstähle gleich kraftwirkungsempfindlich sind. Zunächst scheint auf Grund

von Versuchen eine gewisse Abhängigkeit vom Phosphorgehalt zu bestehen; denn in der phosphorreichen Zone eines Bleches wurden auch dann noch Kraftwirkungsfiguren gefunden, wenn in den phosphorärmeren

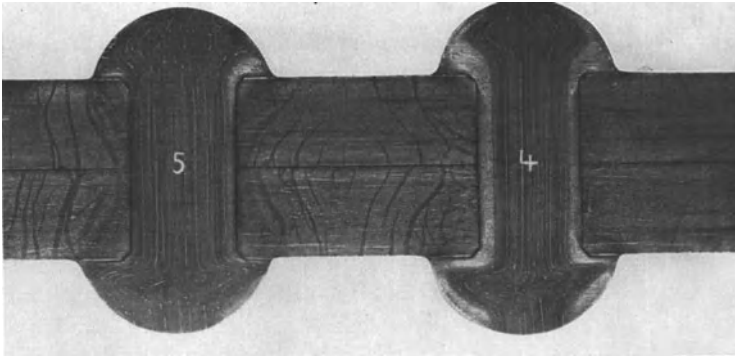


Abb. 178. Kraftwirkungslinien in einem durch Nietdruck hoch beanspruchten Kesselblech; daher auch stärkere Ausbildung an der Nietkopfbegrenzung.

Randzonen keine mehr entstanden waren. Ferner ist nennenswerte Abhängigkeit von der Temperatur festzustellen. Wird ein Werkstoff unter richtiger Walzhitze verarbeitet, so erscheinen die Kraftwirkungslinien

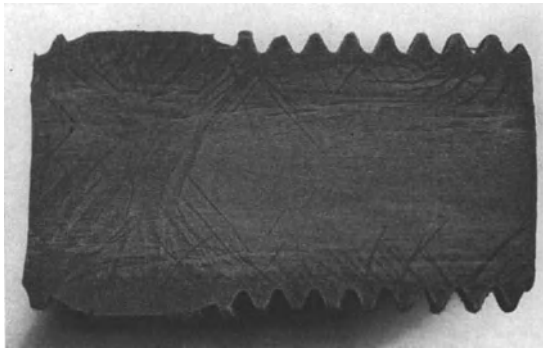


Abb. 179. Fließfiguren einer über die Streckgrenze beanspruchten Schraube. Sie erscheinen hauptsächlich an den einzelnen Gewindegängen und am hochbeanspruchten Bund.

nur seltener oder geringer ausgebildet als bei dunkelroter Verarbeitung. Auch ein Glühen von kalt beanspruchtem Werkstoff über  $A_c 3$  setzt die Kraftwirkungsempfindlichkeit herab. Es wäre demnach möglich, wenn warm genug verarbeitet oder wenn dunkel gewalzter oder phosphorreicher Werkstoff nachträglich gegläht wird, das Auftreten der Kraftwirkungslinien auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Die Kraftwirkungsfiguren stehen in Wechselbeziehung zur Kerbzähigkeit. Mit der Zunahme der ersteren ist ein Absinken der letzteren

und umgekehrt zu verzeichnen. So ergab ein von Kraftwirkungslinien reichlich überdecktes Kesselblech eine Kerbzähigkeit, ausgedrückt in  $\text{mkg/cm}^2$ :

Längs 9,4	Quer 3,8
8,3	5,0
9,4	4,9

Dasselbe Blech nach Ausglühen bei  $920^{\circ}$ .

Längs 14,8	Quer 12,0
15,5	11,5
13,2	11,5

Da die Reißbildung an Kesselblechen neben anderen Einflüssen auf das Vorkommen von Kraftwirkungstreifen zurückgeführt wird, wird häufig die Untersuchung formveränderter Bleche gefordert. Rein prüfungstechnisch wäre dagegen einzuwenden, daß Abnahmen von dem mikro- und makroskopischen Befund nicht abhängig gemacht werden können, da jeder metallographische Schliff eine sehr geringe Zone eines Werkstückes darstellt. Dagegen wäre eine zahlenmäßige Erfassung durch Kerbschlagproben vorzuziehen, weil sie sich auf Grund obiger Erwägungen in jede Werkstoffprüfung einfügen ließe. Neben bewährten Prüfmethoden lassen sich jedoch makro- und mikroskopische Untersuchungen durchaus ergänzend verwenden.

## 41. Der Rotbruchversuch.

Auch die Nachprüfung der Warmbildsamkeit des Stahles kann nach manchen Vorschriften gefordert werden. Geschieht dies, dann pflegt man zum Nachweis der Walz- und Schmiedbarkeit den Rotbruchversuch zu verlangen. Man will dadurch solche Werkstoffe, die sich bei der Verarbeitung zwischen  $800$  und  $1100^{\circ}$  sehr spröde verhalten, von der Verwendung für hochbeanspruchte Gegenstände ausschalten. Der Rotbruchversuch besteht in der Faltung

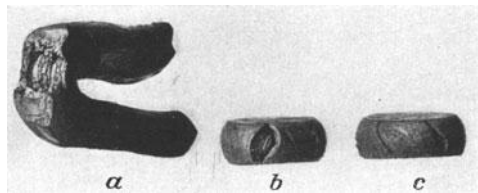


Abb. 180. Rotbruchproben: *a* Warmbiegeprobe mit faserigem Bruchaussehen, *b* tief aufgerissene Warmstauchprobe, *c* weniger stark gestauchte Probe mit flacheren aber scharfen Anrissen. Werkstoff: Nieteisen, Handelsware.

einer auf der Zugseite eingekerbten runden oder quadratischen Biegeprobe in der Rotglut. Der Rotbruch findet bei diesem Versuch seinen Ausdruck in sehnigem Aufreißen der gekerbten Biegezone (Abb. 180*a*). Eine Warmstauchprobe desselben Werkstoffes, wie sie einige Vorschriften vorsehen, zeigt dann scharf auslaufende tiefe Risse (Abb. 180*b, c*).

Die Rotbruchgefahr wächst mit steigendem Schwefel- oder Sauerstoffgehalt bzw. Schwefel plus Sauerstoffgehalt (Abb. 181 und 182). Nach Niedenthal wird die Wirkung des Sauerstoffes bei höherer Schmiedetemperatur sehr stark verringert, während der Einfluß des Schwefels unverändert bleibt. Nach ihm wird das Zusammenwirken beider Elemente auch schon bei geringeren Gehalten zum Rotbruch

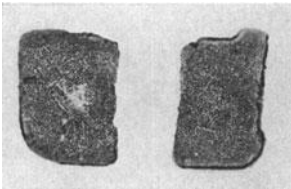


Abb. 181. Oben eine Baumannprobe; die Braunfärbung (hier sehr dunkel) deutet auf einen hohen Schwefel- und Phosphorgehalt bis zum Probenrand hin.

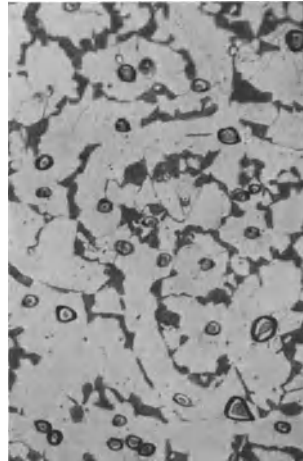


Abb. 182. Ein Mikroschliff zeigt die außergewöhnlich starke Durchsetzung von Schwefel-eiseneinschlüssen (Stellen noch besonders umrändert). Der Werkstoff muß daher stark rotbrüchig sein. 0,090 % P und 0,097 % S.

führen. Durch erhöhtem Mangangehalt dagegen wird die Rotbruchgefahr erheblich vermindert. Die

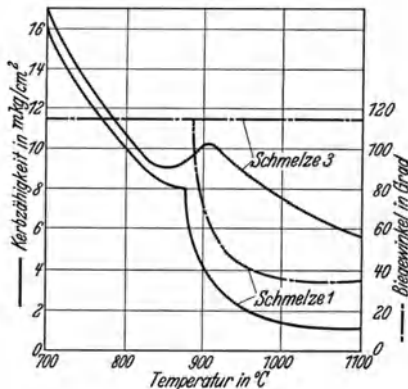


Abb. 183. Spezielle Schlagarbeit und Biegewinkel ungekerbter Proben in Abhängigkeit von der Temperatur (Niedenthal).

— Spezielle Schlagarbeit;  
- - - Biegewinkel.

umfangreichen, lehrreichen Untersuchungen von Niedenthal lassen nach Abb. 183 deutlich erkennen, daß das Rotbruchgebiet, das bei jedem Stahl in einen anderen Temperaturbereich fällt, plötzlich auftritt. Nachgewiesen wurde es hier durch ungekerbte Warmbiegeproben und Kerbschlagversuchen bei höheren Temperaturen.

Eine gleiche Bedeutung für den Nachweis der Warmverformbarkeit eines Werkstoffes haben auch die für technologische Versuche bekannten Aufdorn- und Ausbreitproben. Als Merkmal der Rotbrüchigkeit gelten bei Aufdornproben Risse an dem aufgedornen Rande, bei der Ausbreitprobe, die zu dünnen Blättchen ausgeschmiedet wird, Fransen an der äußeren Kante.



## 42. Die Blaubruchigkeit.

Die allbekannte Erscheinung der Blaubruchigkeit ist bis heute noch nicht befriedigend erklärt worden. Die Praktiker und Metallurgen früherer Zeit verstanden eigentlich darunter die ausgesprochene Eigenart eines Stahles, in einem Temperaturgebiet, das etwa zwischen 150 und 300° liegt, bei der Bearbeitung ungewöhnliche spröde zu sein. Man fand schon damals bei gewöhnlichen Kohlenstoffstählen mittels einfacher Biegeversuche eine auffällig steigende Abnahme der Biegefähigkeit von etwa 100° aufwärts. Man nahm mit Recht an, daß sich alle Eigenschaften in dem genannten Temperaturintervall ungünstig verändern müßten. Meistens mag es sich aus leicht erklärlichen Gründen um Werkstoffe gehandelt haben, die bei ungenügender Temperatur verschmiedet, also kalt verformt waren. Hier treten dann dieselben kennzeichnenden Merkmale wie bei der durch Anlassen erzeugten, sog. künstlichen Alterung auf.

Von hier aus gesehen, ist doch der Blaubruch nur eine bestimmte Erscheinungsform des Alterns. Dieselben Erscheinungen wie bei dem künstlichen Altern werden dann beobachtet, wenn der Stahl in dem fraglichen Temperaturintervall verformt und bei Raumtemperatur Prüfbeanspruchungen ausgesetzt wird. Ob ein Stahl kalt verarbeitet und danach auf Blaubruchtemperaturen angelassen, oder ob er im Blaubruchtemperaturgebiet verarbeitet und kalt beansprucht wird, dürfte stets in gleicher Weise die Eigenschaften ungünstig beeinflussen.

Ganz anders sind die Erscheinungen bei Prüfungen in der Blauwärme zu bewerten. Von einer verhältnismäßig hohen Sprödigkeit kann hier keine Rede sein; denn bei genauer Betrachtung der Kurven der Abb. 53 und 54 in Abschnitt 12 muß zugegeben werden, daß der Festigkeitszunahme nur eine verhältnisgleiche Dehnungs- und Kontraktionsabnahme entspricht. Auch die Kerbschlagarbeit kann Blausprödigkeit nicht beweisen.

Bei allen Stahlsorten und Legierungen wird zwischen 250 und 300° ein Maximum bzw. ein Minimum der Eigenschaften festgestellt. Wird die Versuchsgeschwindigkeit erheblich gesteigert, dann werden die Maxima und Minima je nach der Steigerung nach der Richtung der höheren Temperatur verschoben. Aus diesem Grunde ist auch das Minimum der Kerbschlagarbeit, die ja als der rascheste Versuch zu gelten hat, zwischen 400 und 500° zu suchen. Im Gegensatz hierzu wird bei der Dauerschlagprüfung, die als sehr langsamer Versuch angesehen werden muß, ein ausgeprägtes Maximum bei 100 bis 200° bemerkt. Der Konstrukteur darf freilich für Werkstücke mit höheren Betriebstemperaturen die Änderung der Eigenschaften im Blaubruchtemperaturgebiet nicht übersehen.

Es sei auf Abschnitt 12 verwiesen, nach dem bei vielen legierten Stählen die Maxima und Minima nach der Seite der höheren Temperatur verlegt werden (Abb. 54).

### 43. Werkstattmäßige Untersuchungen.

Es kommt nicht selten vor, daß ein Abnehmer in seiner Tätigkeit auf werkstattmäßige Prüfungen zurückgreift, die zum Teil veraltet erscheinen, aber unbedingt den Vorzug der Einfachheit und Billigkeit haben.

#### a) Unterscheidung von Stahlarten auf ihre Festigkeit bzw. Härte.

1. Die Feilprüfung. Es ist bekannt, daß jeder Handwerker rohe Unterschiede zwischen den Stahlarten mit der Feile findet, wenn er ein geübtes Empfinden dafür hat und dieselbe Werkzeugart dazu verwendet.



Abb. 184. Die Funkenprobe an verschiedenen legierten Stählen.

Fehlerquellen, die ihn unbedingt auf Irrwege führen, liegen in der Nichtberücksichtigung einer dünnen härteren oder weicheren Oberschicht (Aufkohlung und Entkohlung). Auch bei Prüfung derselben Stahlorte oder gar desselben Stückes an der inneren Schicht und äußeren Schicht eines aufgeschnittenen Stückes wird er getäuscht. Die innere Schicht wird spröder und härter erscheinen (infolge Seigerungen), die äußere zäher und weicher (infolge größerer Reinheit). Wird die äußere Schicht

trocken abgeschliffen, so können bei höherem Kohlenstoff neue Fehlerquellen entstehen. Der Werkstoff wird durch Schleifen erwärmt und an der Luft gehärtet, so daß er über seine tatsächliche Härte hinaus hart erscheint (Abschnitt 48).

**2. Funkenprüfung.** Dem geübteren Auge wird es nicht schwer fallen, Unterschiede in der Funkenbildung bei den verschiedenen Stahlsorten wie in Abb. 184 zu finden, wenn er den Stahl einer Schleifprobe unterzieht.

### Die Funkenprobe.

Das zu untersuchende Stahlstück halte man an eine sauber abgedrehte Schleifscheibe. Aus der Art und Farbe der Funkenbildung kann die Stahlart laut nachstehenden Angaben erkannt werden.

Nr.	Bezeichnung des Stahles	Form der Funken	Funkenfarbe
1	Schmiedeeisen, sehr kohlenstoffarm	Geradlinige Funken, nach den Enden zu anschwellend	Strohgelb
2	Flußeisen, kohlenstoffarm	Geradlinige Funken mit anschwellenden Enden und kleinen Spritzern und Stacheln	Strohgelb
3	Werkzeugstahl, mehr Kohlenstoff	Geradlinige Funken ohne besondere Anschwellungen, mehr Spritzer und Stacheln	Weißgelb
4	Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt	Kurzes Strahlenbüschel, keine Anschwellungen, nur Spritzer und Stacheln	Weiß
5	Schnellstahl	Geradlinige Funken, keine Spritzer und Stacheln, kleine Verdickungen an den Enden	Rotchromgelb
6	Manganstahl	Geradlinige Funken, an den Enden Spritzer und Stacheln	Weiß
7	Muschetstahl	Viele nebeneinander liegende geradlinige Funken mit anschwellenden Enden. Unterbrochen von verzweigten Spritzern	Dunkelrot
8	Spezialmagnetstahl	Lange Funken mit dicken Endschwelungen. Unterbrochen von einzelnen Spritzern	Rotgelb

### b) Untersuchung der Stähle auf ihre Zähigkeit.

Stahl mit hoher Kerbzähigkeit gibt beim Abdrehen lange zusammenhängende Späne. Bei einem vergüteten Werkstoff ist dieser Zusammenhang so fest, daß es je nach seiner Zähigkeit zur Lösung einer gewissen Anstrengung bedarf.

### **c) Prüfung weicher Stahlsorten auf Seigerung, Schlacken und Gasblasen.**

Die Behandlung der Fläche eines durchschnittenen Stahlstückes mit verdünnter Salzsäure durch Eintauchen oder dauerndes Bestreichen wird besonders Schlackenadern oder zusammengedrückte Lunker oder Gasblasen sichtbar machen (Abb. 135). Hierbei zeigt sich deutlich, daß Zonen reinerer chemischer Zusammensetzung weniger angefressen werden als solche durch Schwefel, Phosphor und andere Stoffe verunreinigte Zonen. Auch nicht homogen geschlossene Schweißnähte werden durch solche und ähnliche Ätzungen offengelegt. Solche Erzeugungsfehler werden auch schon durch stärkeres Anrosten kenntlich gemacht.

### **d) Prüfung auf Rot- und Kaltbruch.**

Nach Abschnitt 38 und Abb. 180 wird die Rotbrüchigkeit des Stahles beim Schneiden, Stauchen, Lochen, insbesondere beim Ausschmieden auf dünnere Endflächen erkannt. Rotbrüchiger Stahl pflegt dann an den stark ausgedehnten Stellen aufzureißen. Ein durch höheren Phosphorgehalt kaltbrüchig gewordener Werkstoff läßt sich zumeist nicht falten oder sonst kalt verarbeiten.

### **e) Prüfung auf Schweißbarkeit.**

Man bringt ein Stück des zu Schweißzwecken gewählten Werkstoffes zum Brechen. Ein mangelhaft schweißender Stahl wird einen schiefrigen, ungleichmäßig zackigen, auch körnigen Bruch zeigen. Er ist dann stark verunreinigt. Gut schweißbares Material weist ein sammetgraues, regelmäßiges Bruchgefüge auf.

### **f) Untersuchung auf Risse.**

Um ganz feine Risse, Haarrisse, kenntlich zu machen, bestreicht man das zu prüfende Stück mit Druckerschwärze. Nach geringfügiger Erwärmung wird ein Stück Seidenpapier gegen das Stück gedrückt. Risse, auch die denkbar feinsten Äderchen, werden auf dem Papier verdeutlicht.

### **g) Untersuchung auf unganze Stellen**

kann bei einiger Übung durch die Klangprobe geschehen. Verschiedene Vorschriften haben diese als Abnahmeprüfung eingeführt. Beim Vergüten aufgerissene Werkstücke oder bei bestimmten Abkühlungsverhältnissen eingerissene Gußstücke verraten, frei aufgehängt, beim Anschlagen mit dem Hammer durch ihren klirrenden Klang solche Fehler. Auch eingegossenes Lagermetall, wenn es sich nicht mit der Schale vereinigt, wird keinen klaren hellen Klang bei dieser Prüfung geben.

### h) Prüfung metallischer Überzüge.

Proben überzogener Bleche, Drähte u. a., scharf gebogen, werden an der äußeren Krümmung, wenn der Überzug mangelhaft ist, rau werden oder gar abblättern. Besonders schlecht verzinkte Bleche sind sehr empfindlich gegen Biegungsbeanspruchungen. Reißt aber die Verzinkungsaufgabe auf, so ist das Material zur Verarbeitung nicht brauchbar, da die rauhen Stellen rosten.

### i) Prüfung auf Siemens-Martin-Flußstahl und Schweißeisen.

Der Werkstoff wird durch Meißelhieb eingekerbt und nach der dem Kerb gegenüberliegenden Seite in einem Schraubstock scharf gebogen. Hierbei wird Siemens-Martin-Stahl einen verhältnismäßig glatten, zumeist kristallinen Bruch aufweisen, während das Schweißeisen wie aus vielen Lagen bestehend faserig ausreißt (Abb. 102, 103), ohne jedoch ganz durchzubrechen.

## 44. Röntgenographische Prüfung.

Ein noch immer unerfüllter Wunsch des Verbrauchers ist, neben den Ergebnissen der üblichen mechanisch-technologischen Prüfungen und äußeren Besichtigungen auch den inneren Zustand eines Werkstückes, seine Homogenität, kennenzulernen. Wenn man von dem nicht unerheblichen Zeitverlust und einem gewissen Kostenaufwand absieht, so dürfte dieser Wunsch durch Anwendung der technischen Röntgendurchstrahlung in beschränktem Umfange erfüllt werden. Mag sein, daß der Weg zur Erzielung einer bequemen und unter allen Verhältnissen anwendbaren röntgenographischen Prüfung noch weit ist. Diese Prüfmethode liegt aber schon heute in einer solchen Durchbildung vor, daß unter bestimmten Voraussetzungen wesentliche Werkstofffehler festzustellen sind. Die technische Röntgendurchstrahlung beruht auf dem Vermögen der Röntgenstrahlen, auch optisch undurchsichtige Körper zu durchdringen. Die Durchdringungsfähigkeit ist aber abhängig von der Dicke und dem spezifischen Gewicht der Körper. Mit zunehmender Dicke und zunehmendem spezifischen Gewicht wird die Durchdringungsfähigkeit rasch geringer. Auf der photographischen Platte, die auf der der Strahlenquelle

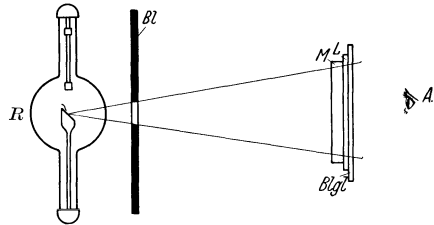


Abb. 185. Schematische Anordnung bei der Grobstrukturuntersuchung mit Röntgenstrahlen.

*R* Röntgenröhre; *M* Untersuchungsmaterial; *Pb* Bleischutz gegen Streustrahlung; *L* Leuchtschirm, *Bgl* Bleiglas zum Schutz des Beobachters, *A* Beobachtungsstand. — Unter gewissen Veränderungen der Anordnung, statt des Leuchtschirmes eine Kassette und einiger Schutzmaßnahmen, sind die Bedingungen für photographische Aufnahmen geschaffen.

bestimmten Voraussetzungen wesentliche Werkstofffehler festzustellen sind. Die technische Röntgendurchstrahlung beruht auf dem Vermögen der Röntgenstrahlen, auch optisch undurchsichtige Körper zu durchdringen. Die Durchdringungsfähigkeit ist aber abhängig von der Dicke und dem spezifischen Gewicht der Körper. Mit zunehmender Dicke und zunehmendem spezifischen Gewicht wird die Durchdringungsfähigkeit rasch geringer. Auf der photographischen Platte, die auf der der Strahlenquelle

gegenüberliegenden Seite eines Probekörpers aufgestellt ist, sind alle fremdartigen Einschlüsse, Hohlstellen, Risse und dgl. erkennbar. Da diese zumeist spezifisch leichter sind, so erscheinen sie als dunklere Flecken auf der

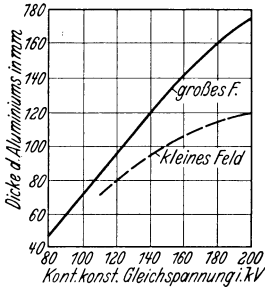


Abb. 186. Grenzdicken für verschieden kontinuierliche konstante Spannungen bei der Durchstrahlung von Aluminium.

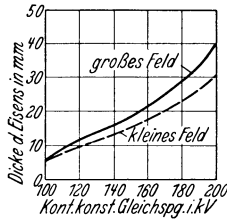


Abb. 187. Dasselbe für Stahl.

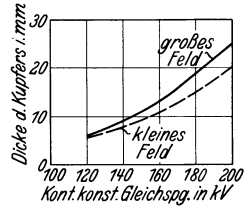


Abb. 188. Dasselbe für Kupfer.

Platte oder als hellere auf einem hinter dem Prüfobjekt aufgestellten Leuchtschirm.

Es ist leicht einzusehen, daß geringere Materialdicken intensiver durchleuchtet werden als größere; ja es hört bei bestimmter Probek-

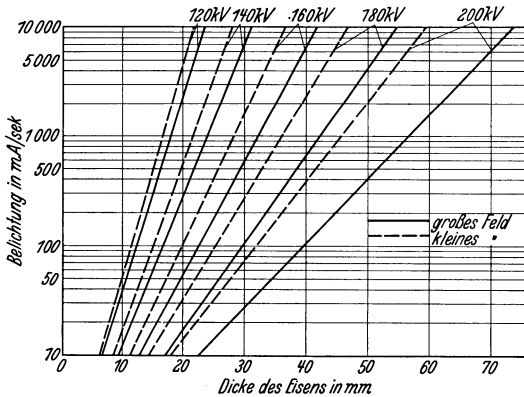


Abb. 189. Die Belichtungsgrößen für Flußeisen bis 80 mm Dicke.

dicke die Durchleuchtbarkeit überhaupt auf. Mit dem Absinken der Durchleuchtbarkeit sinkt natürlich auch die Fehlererkennbarkeit. Nach Berthold sind die für photographische Aufnahmen geeigneten durchstrahlbaren Grenzdicken der Probekörper in Abbildungen 186—188 angegeben. Bei diesen Versuchen werden 200 kV Röhrenspannung, 15 mA Röhrenstärke, ein Abstand von 50 cm und eine Belichtungszeit von 10 bzw. 60 Minuten vorausgesetzt. Ohne die Apparatur zu beschreiben, sei hierbei gesagt, daß die zur Zeit höchste übliche Betriebsspannung 200 000 Volt (= 200 kV) beträgt. Indessen arbeitet man je nach der Werkstoffart und -dicke auch mit niederen Spannungen. Die Belichtungsgrößen, die sich als Produkt aus Röhrenstromstärke in Milliampères und der Belichtungszeit in Sekunden darstellen, ergeben sich aus Abb. 189.

In Abb. 189 werden brauchbare Arbeitsverhältnisse beim Röntgen angegeben, wie sie bei verschiedener Probedicke zu den verschiedenen Belichtungsgrößen bestehen. So zeigen Probestücke mit verschiedenen Querschnitten bei der Prüfung mit Hilfe der photographischen Platte verschiedene Schwärzung, auf dem Leuchtschirm verschiedene Helligkeit. Dasselbe tritt ein, wenn Hohlstellen oder Gasblasen den Querschnitt schwächen. Dies ist nach Abb. 190—192 nur soweit möglich, als noch der Dickenunterschied genügend groß ist. Gasblasen werden im zusammengepreßten Zustande dann nachgewiesen, wenn ihre Höhe den Strahlen zugewandt ist (Abb. 193). Wird ihre Breitseite von den Strahlen getroffen, so werden sie jedoch unter Umständen nicht mehr gefunden. Der Dickenunterschied ist dann so

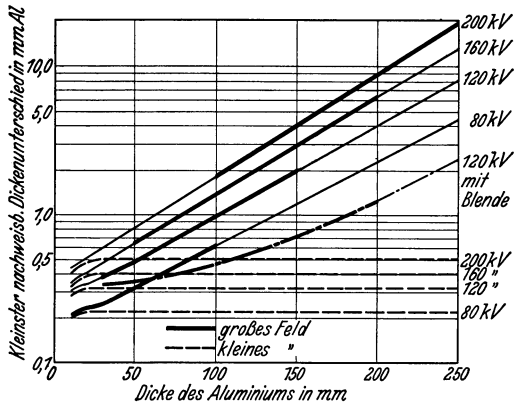


Abb. 190. Die kleinsten photographisch nachweisbaren Dickenunterschiede von Aluminium in Abhängigkeit von der Dicke des Prüflings und für verschiedene Röhrensparnungen.

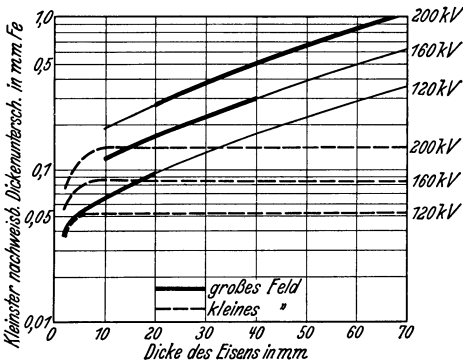


Abb. 191. Wie Abb. 190. Von Eisen.

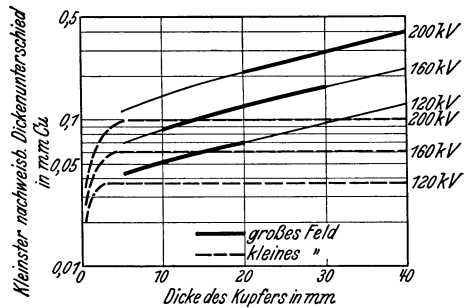


Abb. 192. Wie Abb. 190. Von Kupfer.

gering, daß er keinen erkennbaren Kontrast ergibt. Spannungsrisse werden unter ähnlichen Bedingungen gefunden, sofern die Werkstoffdicke das Höchstmaß nicht übersteigt.

Gleichfalls können Schlackeneinschlüsse im Stahl nachgewiesen werden. Da sich ihr spezifisches Gewicht von dem des Stahles stark unterscheidet, absorbieren sie weniger die Röntgenstrahlen (Abb. 194). Ist jedoch ein Stahl durch Schwefel-, Phosphor- oder Kohlenstoff

verunreinigt oder treten in Kupfer- oder Aluminiumlegierungen Entmischungen auf, die die Güte des Werkstoffes herabsetzen, so werden

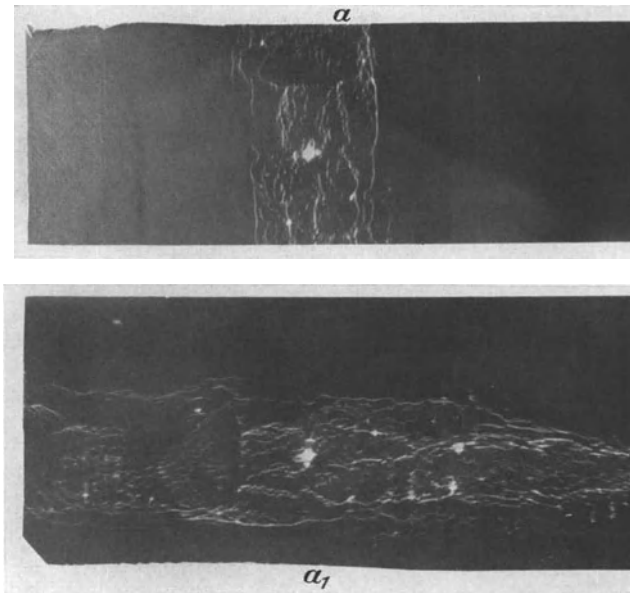


Abb. 193. Durchstrahlung eines Bleches, bei dem quer zum untersuchten Streifen dicht nebeneinanderliegende zusammengepreßte Gasblasenseigerungen entdeckt wurden. Bei erneuter Durchstrahlung an der Stelle *a* wurde im Zuge der Linien beiderseitig von *a*, eine langgestreckte Seigerungszone ausfindig gemacht. Die übrigen Blechteile sind gesund.

auf der Platte oder auf dem Leuchtschirm irgendwelche Kennzeichen nicht gefunden, da der Unterschied des spezifischen Gewichts zwischen

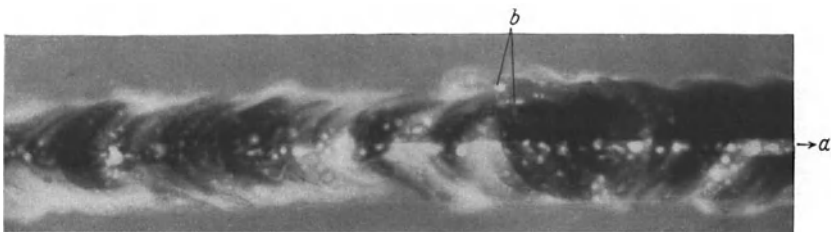


Abb. 194. Mit Lichtbogen geschweißte V-Naht unter Benützung einer ummantelten Elektrode. Unsachgemäße Schweißung. *a* In der Spitze der V-Naht fast durchgehend Blasen. *b* Zahlreiche Gasblasen auch am Rande der Naht. Die hellen und dunklen Zonen der Schweißwulst zeugen von der Materialdifferenz. Die Unebenheiten der Schweißwulst sind so erheblich, daß die tieferen Stellen unter der Blechdicke liegen.

gesundem und verseigertem Material nur unwesentlich ist. Schlacken sind als Füllung von Hohlräumen schwerer erkenntlich, da sie sich fladenartig ausbreiten und den übrigen Materialschwächungen ähnlich sind.

Die Schärfe der Bildzeichnung auf Platte und Schirm wird geschwächt, wenn die Fehlstelle allmählich an ihren Rändern verläuft, dadurch kann



die Fehlererkennbarkeit gemäß Abb. 190—192 gelegentlich erschwert oder unmöglich werden. Dann dürfte es häufig vorkommen, daß der tatsächliche Umfang eines Werkstofffehlers nicht gefunden wird.

Die technische Röntgendurchstrahlung ist für die Untersuchung von Schweißnähten von hervorragender Bedeutung. Von den „Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten“ wird sie als erste Prüfmethode erwähnt. Dies ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß gerade die Güte einer Schweißnaht von Schlackeneinschlüssen und Hohlstellen, sowie von der Art der Bindung stark beeinflußt wird. Schlacken und Hohlstellen sind aber vorzügliche Objekte der röntgenographischen Untersuchung. Eine ungenügende Bindung wird freilich oft nur dann gefunden, wenn nach Lefring die Nahtwände ungefähr in der Richtung der Strahlen liegen, wenn also dieselben Voraussetzungen geschaffen sind, wie bei der Untersuchung von Spannungsrissen oder zusammengepressten Gasblasen (Abb. 193 und 195). Bei der Untersuchung von Schweißbecken ist es nach Angaben von Berthold zur Erzielung gleichmäßiger Probepartien und damit gleichmäßiger Schweißung erforderlich, entsprechende Keile zu benutzen.



Abb. 195. Risse im gevierteilten Boden eines Gasbehälters. Die Durchstrahlungsdifferenz (dunkel und hell) ist auf den Dickenunterschied zwischen Kante und Mitte des Bodens zurückzuführen.

Nicht selten pflegt man auch hochbeanspruchte Stahlformgußstücke zu durchstrahlen. Um größere Stücke in allen ihren Teilen zu untersuchen, ist man genötigt, Dutzende von Aufnahmen herzustellen. Zumeist wird man aber nur solche Zonen untersuchen, die der gießtechnischen Voraussicht nach Fehlstellen, wie Lunker, Gasblasen oder Schlacken enthalten können oder nach konstruktiver Beurteilung Sonderbeanspruchungen ausgesetzt sind.

Nachdem sich die Flugzeugindustrie für ihre Konstruktionen des Aluminiums oder seiner Legierungen bedient, werden diese Werkstoffe mit besonderer Vorliebe deshalb röntgenographisch geprüft, weil sie wegen ihrer Strahlendurchlässigkeit infolge ihres geringen spezifischen Gewichtes ein äußerst günstiges Prüfobjekt darstellen (Abb. 190).

Walz-, Hobelriefen, Körner und andere Vertiefungen werden, wenn sie den in Abb. 190—192 angegebenen Dickenunterschieden entsprechen, auf Platte oder Leuchtschirm gezeichnet und können vom ungeübten Beobachter für Werkstofffehler gehalten werden.

## 45. Beeinflussung der Prüfeigenschaften durch die Verformung (Verschmiedung).

Schmieden, Walzen, Ziehen und Pressen sind die wichtigsten Erzeugungsvorgänge für metallische Werkstoffe geworden. Ehe ein metallischer Werkstoff in seine endgültige Form gebracht ist, werden seine Eigenschaften durch Kalt- oder Warmverformung erheblich geändert. Es ist daher von Belang, sich über die Einflüsse der Verarbeitung zu unterrichten.

### a) Die Kaltverarbeitung.

Die Kaltverarbeitung als solche liegt zunächst außerhalb jedes abnahmetechnischen Interesses, da sie für abnahmepflichtige Großwerk-



Abb. 196. Gleitlinien nach Kaltverformung in großen Kristallen (Bach und Baumann).

stücke nicht angewendet wird. Sie liefert in erster Linie Halbfabrikate, die als blankgezogenes Eisen bekannt sind. Derartige Halbfabrikate wie Formeisen, Bandeisen und Rundstangen ersparen die Herstellung einer blanken bzw. glatten Oberfläche, die teilweise erhebliche Unkosten verursacht. Diese blanken Halbzeuge werden in der Abnahme aus den ausgangs zu erörternden Gründen nur bedingt zugelassen, nämlich dann, wenn sie durch das sog. „Blankglühen“ (Abschnitt 46) einer den Werkstoff normalisierenden Wärmebehandlung unterworfen werden. Deshalb ist den blankgezogenen Halbfabrikaten nur ein bestimmtes Verwendungsbereich zugewiesen.

Es gibt allerdings auch kaltverarbeitete Fertigerzeugnisse, die einer eingehenden Abnahmeprüfung unterliegen. Hierzu gehören Drähte bzw. Drahtseile, deren hohe Festigkeit neben guter Zähigkeit das Kriterium ihrer Brauchbarkeit sind. Da für Drahtseile ein Werkstoff von etwa 130 bis 200 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit verlangt wird, ist sehr leicht einzusehen,

den ausgangs zu erörternden Gründen nur bedingt zugelassen, nämlich dann,

daß diese Drähte nur aus einem hochprozentigen Kohlenstoffstahl mit besonderer Kaltverfestigung herzustellen sind. Der bestgeeignete Gefügestand zur Erzielung höchster Drahtseilqualitäten liegt im Sorbit, da er trotz seiner hohen Festigkeit noch weitgehend kaltverformt werden kann<sup>1</sup>. Demnach wäre der Drahtwerkstoff vor dem Ziehen zu vergüten oder wie hier gesagt wird, zu patentieren. Je nach dem Ausgangswerkstoff werden durch Ziehen 2 bis 3fache Festigkeiten erzielt, und zwar nimmt die Verfestigung proportional der Verformung bzw. der Anzahl der Züge zu. Dabei wird die für die Drahtprüfung übliche Biege-Verwinde- und Dauerbiegezahl durch die zunehmende Verfestigung keineswegs herab-, sondern häufig erheblich heraufgesetzt.

Durch Kaltverarbeiten werden die Kristalle nach Beanspruchungen über die Streckgrenze in Richtung der Kraft gestreckt. Die Kristalle können dabei derart verformt werden, daß das Mikrogefüge einem verschommenen langgestreckten Geflecht gleicht. Dabei fällt die außerordentlich starke Verzerrung des Perlits auf, die nach Howes Beobachtung der des Ferrits weit vorseilt. In dem einzelnen Korn treten einzelne Translations- oder Gleitlinien auf, die eine Kaltverformung untrüglich beweisen (Abb. 196). Ebenso werden mehr oder weniger die Hartmannschen Linien beobachtet (Abb. 178 und 179). Die Kaltverarbeitung hat außerdem einige recht bedenkliche Nebenerscheinungen im Gefolge, wozu das mechanische und magnetische Altern, die Blaubrüchigkeit und Rekristallisation gehören (Abschnitt 38 und 40).

### b) Warmverarbeitung.

Die Warmverarbeitung durch Schmieden, Pressen, Walzen und Ziehen wird in den Abnahmevorschriften als eine der Kontrolle des

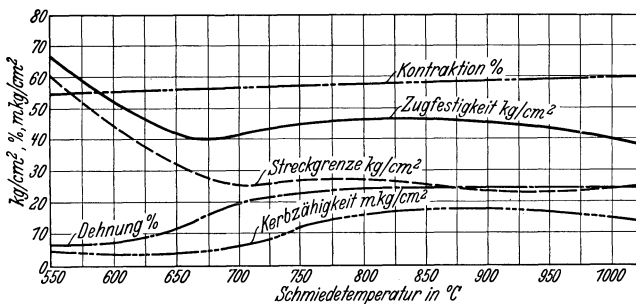


Abb. 197. Einfluß der Endtemperatur auf die mechanischen Eigenschaften bei einem Stahl von 0,15 C und 0,40 Mn, ungeglüht.

Abnehmers unterstellte Bearbeitungsphase angesehen. Es ist sicher bezeichnend für den Stand der Erkenntnis, daß neuerdings der Warmverarbeitung nicht nur eine wohlverdiente Aufmerksamkeit geschenkt,

<sup>1</sup> Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 12 (1930) Lief. 5.

sondern auch nach wissenschaftlichen Grundsätzen ausgeführt wird; denn die Qualität eines Werkstoffes hängt sowohl von seiner Herstellung

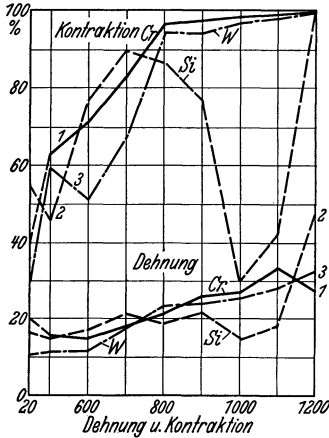


Abb. 198. Die Warmverformbarkeit von legierten Stählen mit einem Legierungselement.

Stahl 1 mit 2% Cr. Stahl 2 mit 2% Si. Stahl 3 mit 3% Wo.

wie auch von der Verarbeitung ab. Von dem Abnehmer wird in der Regel ein Stahl von „guter Durchschmiedung“, gemeint ist ein hoher Durchschmiedungsgrad, gefordert (Abschnitt 49). Es ist eine alte, wenn auch nur bedingt richtige Anschauung, für die Werkstoffgüte den Durchschmiedungsgrad verantwortlich zu machen. In der Tat können die schädlichen Einflüsse von Lunkern, Gasblasen, Schlacken, Kornvergrößerung und dgl., wenn nicht beseitigt, so doch gemildert werden. Die ursprünglichen großen Reste werden zertrümmert (Abb. 201).

Wärmetechnisch erfolgt die Warmverformung unter ähnlichen Gesichtspunkten wie das Glühen (Abschnitt 46). Allein die maßgebenden Verhältnisse zwischen der Anfangs- und Endverformungstemperatur sind hier wenig übersichtlich, denn es handelt sich hier nicht wie beim Glühen oder Vergüten um eine Einzelwirkung, sondern wie P. Oberhoffer

Wärmetechnisch erfolgt die Warmverformung unter ähnlichen Gesichtspunkten wie das Glühen (Abschnitt 46). Allein die maßgebenden Verhältnisse zwischen der Anfangs- und Endverformungstemperatur sind hier wenig übersichtlich, denn es handelt sich hier nicht wie beim Glühen oder Vergüten um eine Einzelwirkung, sondern wie P. Oberhoffer

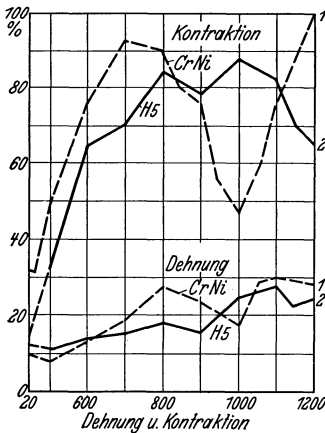


Abb. 199. Wie Abb. 198, jedoch mit mehreren Legierungselementen.

Stahl 1 mit 1% Cr und 3% Ni. Stahl 2 Werkzeugstahl.

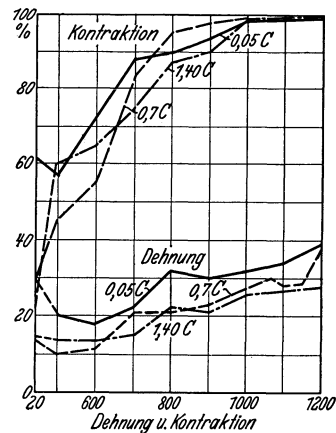


Abb. 200. Wie Abb. 198, jedoch an Kohlenstoffstählen mit verschiedenen Gehalten.

Stahl mit 0,05% C und 0,45% Mn. Stahl mit 0,70% C und 0,40% Mn. Stahl mit 1,40% C und 0,35% Mn.

sagt, um die Gesamtwirkung, die gleich ist einer Reihe bei verschiedenen Temperaturen erfolgten Einzelwirkungen, die sich überschneiden

und verwischen<sup>1</sup>. Die Bedeutung der Verarbeitungstemperatur und der Abkühlungsgeschwindigkeit ist Gegenstand vieler Untersuchungen gewesen<sup>2</sup>.

Zusammenfassend ist darüber folgendes zu sagen: Anfangs- und Endtemperatur sind beide für den Erfolg der Warmverarbeitung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Korngröße ist, wenn man von der Beeinflussung durch die ursprüngliche Korngröße absieht, von der Endtemperatur abhängig. Man wird diese daher so niedrig wie möglich wählen, jedoch nicht so niedrig, daß im Gebiet der Kaltverformung etwa bei 650° verarbeitet wird. Wenn, wie es bei Walzwerkstoffen zumeist der Fall ist, keine Glühbehandlung diesen Werkstoff normalisiert, dann dürfte der Werkstoff nicht bedingungsgemäß ausfallen, eine übermäßig gesteigerte Festigkeit und Fließgrenze neben einer geringen Dehnung und Kerbzähigkeit ihn als ungeeignet erscheinen lassen. Abb. 197 gibt die Eigenschaften eines Werkstoffes wieder, der verschiedene Schmiedeeindtemperaturen hatte. Die ungewöhnlich starken Veränderungen bei etwa 600 bis 650° bezeugen den Beginn der Kaltbearbeitung.

Die Einhaltung einer höheren Anfangstemperatur ist bei gewöhnlichem Kohlenstoffstahl ebenso geläufig wie bedeutsam. Die verschiedenen den Werkstoff trennenden Faktoren wie Gasblasen, Lunker und dgl. können nur unter höheren Hitzegraden verschweißen. Da aber alle Gußblöcke mit materialstörenden Fehlern behaftet sind, muß versucht werden, diese nach Möglichkeit durch wärmere Verarbeitung zu beseitigen. Ob die vollständige Beseitigung gelingt, hängt schließlich von der Art und Menge der die Lunker und Gasblasen umschließenden Verunreinigungen, Seigerungen ab (Abschnitt 49).

Vom Standpunkt der Ersparnis von Formgebungsarbeit müßte das Schmiedetemperaturintervall gleichfalls so hoch wie möglich gelegt werden, denn der Formänderungswiderstand sinkt mit steigender Temperatur. Die Schmiedeanfangstemperatur hängt nun jedoch in erster Linie vom Kohlenstoffgehalt oder anderen Legierungszusätzen ab. Überhaupt wird die chemische Zusammensetzung die Warmverformbarkeit, insbesondere legierter Stähle, maßgebend beeinflussen. Aus der Kontraktion einiger Warmfestigkeitsversuche der Abb. 198, 199 und 200 gehen die krassen Unterschiede warmbildsamer Verformung zwischen Kohlenstoff- und legierten Sonderstählen instruktiv hervor. Die Kontraktion ist bei dem 2% -Siliziumstahl bei einer Warmverformung von etwa 1000° sogar niedriger als bei Kaltverformungen von 20°. Ähnlich verhält sich der Chrom-Nickel-Stahl. Beide Stähle zeigen dagegen zwischen 700 bis 800° eine beachtliche Warm schmiedbarkeit, die sich erst wieder nach dem steilen Abfall bei 1100° erholt.

<sup>1</sup> P. Oberhoffer: Das technische Eisen S. 406.

<sup>2</sup> Stahl u. Eisen Jg. 41 S. 678.

Für die Abnahmewerkstoffprüfung ist nur der äußerlich erkennbare Erfolg — das meßbare Endergebnis einer Schmiede- und Glüharbeit — maßgebend. Den gewissenhaften Hersteller interessiert aber gleichfalls, ob die metallographischen Forderungen erfüllt sind. Die Abb. 201—203 zeigen im Zusammenhang mit der Zahlentafel 14 den befriedigenden Verlauf einer Warmverarbeitung. Das grobkristallinische Gefüge im Anlieferungszustand eines vorgeschmiedeten Materials von etwa 0,25% Kohlenstoff (Abb. 201) wird durch Schmieden bei einer Endtemperatur von etwa 800 bis 900° zertrümmert (Abb. 202) und durch Glühen bei 840°

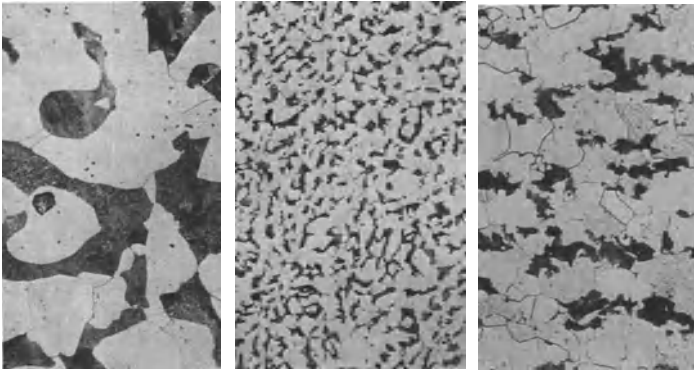


Abb. 201.

Abb. 202.

Abb. 203.

Abb. 201. Anlieferungszustand. Werkstoff: 0,30 C.

Abb. 202. Stark durchgeschmiedet.

Abb. 203. Geglüht.

normalisiert (Abb. 203). Nicht immer werden die Veränderungen bei der Verarbeitung so ideal ablaufen, sondern neben ausreichenden Ergebnissen der mechanischen Prüfung ungenügenden Gefügestand aufweisen.

Zahlentafel 14.

	Streck- grenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kerb- zähigkeit mkg/cm <sup>2</sup>
a) Anlieferungszustand . . . . .	31,4	44,8	26,0	6,7
b) Stark durchgeschmiedet . . . . .	32,0	51,2	27,0	16,7
c) Geglüht . . . . .	22,7	44,6	32,0	10,0

## 46. Änderung der Werkstoffeigenschaften durch Glühen.

Die allgemeine Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften und Gefügebau ist alt. Stand kein Mikroskop zur Verfügung, dann behalf man sich mit der Beurteilung des Bruchgefüges.

Neben der modernen Röntgenforschung fällt heute die hohe Aufgabe struktureller Forschung der Metallographie zu, denn sie ist im gebräuchlichen Sinne die Gefügebeschreibung der Metalle. Sie versteht es mit



Abb. 204. Ein einer Wärmebehandlung unterzogener Werkstoff. Oberer Umwandlungspunkt wurde nicht erreicht, dagegen der  $A_{c1}$ -Punkt gerade durchschritten, daher enthält das grobe Ursprungsgefüge körnigen Perlit. 300  $\times$ .

Hilfe bestimmter Ätzverfahren, die mikroskopisch kleinsten Kristalle sichtbar zu machen und dadurch jede günstige und ungünstige Veränderung

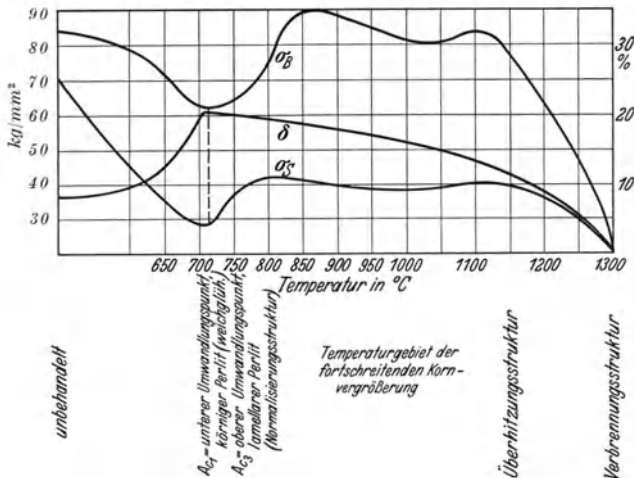


Abb. 205. Eigenschaftsänderungen eines Schmiedestahles mit 0,64 C und 0,90 Mn durch Glühen zwischen 600—1200° C (5 d).

infolge Wärmebehandlung unzweifelhaft nachzuweisen. Die Metallographie hat es meisterhaft verstanden, die vielen Möglichkeiten der Werkstoffzustandsänderungen zu ordnen; denn die Mannigfaltigkeit der Gefügevariationen und -kombinationen und der damit zusammenhängenden Eigenschaftsänderungen ist geradezu unerschöpflich.

In den Bereich der metallographischen Forschung gehört auch die Festlegung und Kontrolle der thermischen Behandlung der Werkstoffe, zu welchem Zweck sie die Umwandlungspunkte ausfindig macht. Die

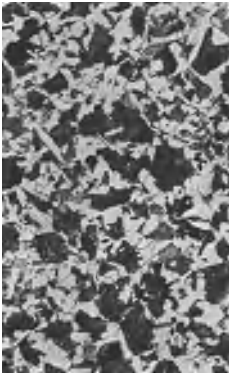


Abb. 206.

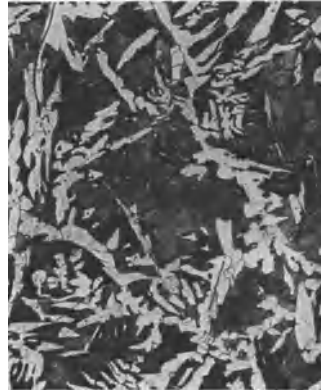


Abb. 207.

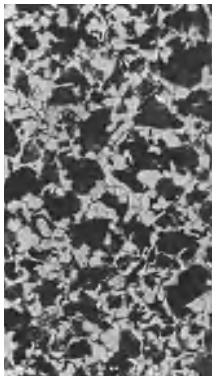


Abb. 208.

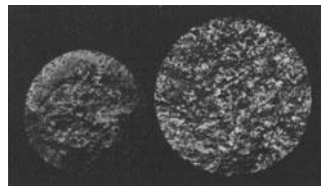
a  
b  
Abb. 209.

Abb. 206–209. Bruch- und Mikrogefüge ballenartiger Körper aus einem Kohlenstoffstahl von 0,46 C und 0,75 Mn. Die an sich richtig gewählte Glüh Temperatur konnte sich in dem massigen Körper nur in der äußeren Zone auswirken. Der gut verformungsfähige Probestab der Abb. 209a zeugt von dem normalen Glühstand der Abb. 206. Das Balleninnere, etwa 75 mm tief, zeigt grobes Bruchgefüge mit geringem Formänderungsvermögen (Abb. 209b) und weist auf die in Abb. 207 dargestellte Überhitzungsstruktur hin. Durch nochmalige Wärmebehandlung bei 830° und Luftabkühlung bis auf 600°, sowie einer vollständigen Erhaltung im Ofen von 600° abwärts erzeugte auch im Balleninnern ein einwandfreies Glühgefüge, das gute mechanische Eigenschaften erwarten läßt (Abb. 208) (s. auch Zahlentafel 13).

Umwandlungspunkte sind Glühgrenzen, deren Überschreitung mit Gefügeänderung verbunden ist.

Erst durch das Überschreiten des Umwandlungspunktes  $A_3$  wird die Neukristallisation vollständig. Man sagt dann von einem Werkstoff, daß er ausgeglüht oder normalisiert sei. Die Normalisierung ist in allen Abnahmevorschriften als technische Voraussetzung der Abnahme für gewisse Werkstoffe festgelegt. Nicht nur deshalb, um den Werkstoff in einen einwandfreien Gefügestand zu versetzen, sondern ihm jede innere Spannung, durch Kalt- oder Warmformgebung hinein-



getragen, zu nehmen. Es ist unschwer, den für die Normalisierung maßgebenden Gefügestand zu erkennen (Abb. 205—214). Ob es sich um Gußstruktur, um stark verformte Trümmerkristalle oder gar um Überhitzungsgefüge handelt, stets muß durch das Ausglühen (Normalisieren) ein gewisser feinkörniger Gefügetypus mit regelmäßig und gut eingeformten Kristallen erstrebt werden. Aber, wie schon angedeutet, beobachtet man in der Praxis infolge Unkenntnis über die Umwandlungen eine tastende Unsicherheit in der Wärmebehandlung. Zumeist ist es ein Pendeln in einem Wärmegebiet zwischen  $A 1$  und  $A 3$ , das keineswegs in einer vollständigen Umkristallisation seinen Ausdruck

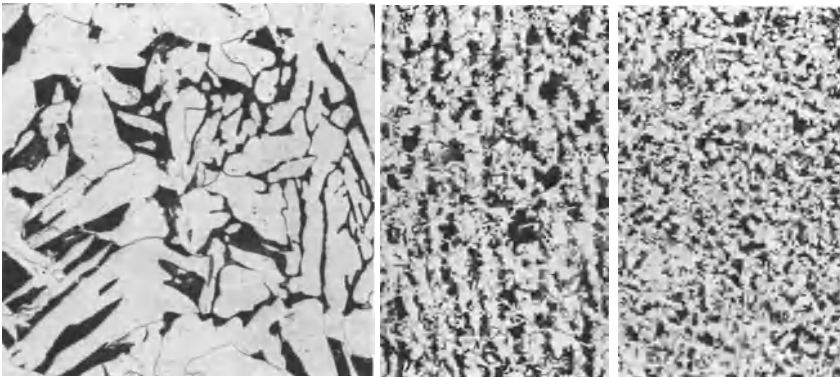


Abb. 210.

Abb. 211.

Abb. 212.

Gefügebilder eines Kohlenstoffstahles (mit 0,18 C und 0,5 Mn), und zwar: Abb. 210. Überhitzungsstruktur. Abb. 211. Dasselbe im Ofen langsam abgekühlt. Abb. 212. Dasselbe an der Luft erkaltet.

findet. Charakteristisch in diesem Glühbereich ist das Verhalten der Guß- und Überhitzungsstruktur, die in den Korngrenzen noch unwesentlich geändert wird. Nur im Perlitkorn zeigt sich deutlich die Körnung des Zementits. Eine vermeintliche Kornverfeinerung kann sich demnach nur auf das Innere eines Perlitkornes beziehen (Abb. 204).

Wird  $A 3$  durchschritten, so bleibt eine sichere Gesamtstrukturveränderung nicht aus. Der Werkstoff ist normalisiert, er hat alles, was an Guß und Schmiedegefüge erinnert, verloren und hat als Gefügetypus den streifigen, lamellaren Perlit. Nach dem Eisenkohlenstoffschaubild wäre zwar zu vermuten, daß man die Glühtemperatur über den  $A 3$ -Punkt hinaus beliebig steigern könne; allein die mit der steigenden Temperatur verbundene Kornvergrößerung bei langsamer Abkühlung verbietet jede laxe Handhabung der Wärmebehandlung auch in diesem Temperaturbereich.

Es ist zwar bekannt, daß mit steigendem Kohlenstoffgehalt bzw. mit steigender Festigkeit das Korn augenfällig feiner wird. Aber auch die jedem Stahl natürlich entsprechende Korngröße ist einer Veränderung

unterworfen. Durch eine Kornvergrößerung werden jedoch die mechanischen und technologischen Eigenschaften mit geringen Ausnahmen ungünstig beeinflusst. Im allgemeinen wird das Glühen in den verschiedenen Temperaturbereichen nach Abb. 205 (hier bei einem Stahl von 0,62 C) die Eigenschaften entsprechend ändern. Nicht bei allen Stählen wird eine Wärmebehandlung die Eigenschaften so stark beeinflussen, da chemische Zusammensetzung und Verschmiedung auch das Bild ändern.

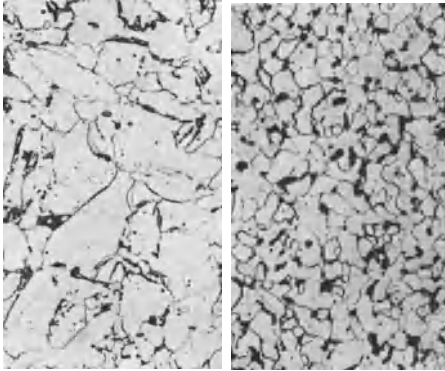


Abb. 213.

Abb. 214.

Abb. 213. Überhitzungsgefüge eines weichen Kohlenstoffstahles mit 0,082 C. Schlagarbeit 2,3 mkg/cm<sup>2</sup>.

Abb. 214. Nachglühen des überhitzten Stahles aus Abb. 213 bei 920°. Schlagarbeit 26,0 mkg/cm<sup>2</sup>.

Der Erfolg des Normalisierens wird sehr oft durch erhebliche Steigerung der Temperatur über den oberen Umwandlungspunkt hinaus vereitelt. Das Bruch- und Mikrogefüge wird dann wesentlich vergrößert. Eine sog. Überhitzung hat Platz gegriffen und wird im Gefüge durch grobe Perlitkristalle mit zackigen und gefransten Ferrit-rändern bei kohlenstoffreichem Stahl sehr ausgeprägt gekennzeichnet. Bei kohlenstoffärmerem Stahl schließen sich Ferrit und Perlit zu groben Kristalleinheiten zusammen (Abb. 206 bis 214). Die Überhitzungs-

gefahr wird um so größer, je höher der Kohlenstoff steigt. Sind an einem Werkstück hervorspringende Ecken, tiefe Einschnitte oder Risse vorhanden, die von der Glühflamme besonders intensiv erfaßt werden, dann entsteht außer der Überhitzung noch eine Entkohlung. Die Qualität des Werkstoffes wird dann je nach dem Grade der Überhitzung wesentlich verringert.

Zahlentafel 15.

Glühzustand	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kon- traktion %
Normal gegläht . . . . .	53,0	101,0	18,0	38,0
Überhitzt . . . . .	42,0	83,0	9,0	12,0

Eine Überhitzungsstruktur wird durch nochmaliges Glühen über den A 3-Punkt wieder beseitigt. Es ist im Prinzip dasselbe, wie das Normalisieren eines ungeglühten Werkstoffes. Schwieriger wird die erneute Wärmebehandlung insbesondere dann, wenn es sich um Werkstücke mit großen Querschnittunterschieden handelt. Hier lehrt die Praxis, daß bei Erreichen des richtigen Glühzustandes des geringsten Querschnittes der

größte Querschnitt noch das Überhitzungs- oder Gußgefüge aufweist. Umgekehrt, daß bei längerem Glühen der Kern eines größeren Querschnitts zwar das richtige feine Korn erhält, jedoch der geringe Querschnitt infolge Überhitzung eine starke Kornvergrößerung zeigt. Man wendet hier mit Erfolg das Doppelglühen an, dessen Auswirkung aus den Abb. 206—209 zu erkennen ist. „Doppelglühen“ besteht in einer

Zahlentafel 16.

Glühung	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kerb- zähigkeit mkg/cm <sup>2</sup>
Geringer Querschnitt: einfach . . .	29,8	58,2	24,0	6,2
doppelt . . .	30,2	60,0	23,7	5,8
Größeres Querschnittsinnere: einfach . . .	25,0	52,1	16,7	2,3
doppelt . . .	28,0	57,8	20,5	4,6

intensiven Wärmebehandlung über  $A_3$  mit darauffolgender schneller Luftabkühlung bis unter die Perlitlinie etwa  $600^{\circ}$  und endgültigem Erkaltenlassen im Ofen.

Nach der Zahlentafel 16 folgt der Kornverfeinerung eine entsprechende Verbesserung aller mechanischen Eigenschaften.

Es bedarf des besonderen Hinweises für die Werkstoffabnahme, daß Probestücke infolge ihrer Lage am Werkstück leichter überhitzt werden als das gesamte Glühgut. Eine Zurückweisung von Werkstoffen auf Grund von Überhitzungsmerkmalen der Probe ist nur dann berechtigt, wenn die Zurückweisung zwecks nochmaliger Wärmebehandlung erfolgt.

Werden Überhitzung und Verbrennung eines Werkstoffes verwechselt, dann kann es zu bedenklichen Fehlschlüssen und unnötigen wirtschaftlichen Verlusten kommen. Die Verbrennung wird viel seltener beobachtet, als im allgemeinen angenommen wird; diese kann nur dann auftreten, wenn ein Werkstoff ganz oder örtlich über die sog. Soliduslinie erhitzt wird. Die Soliduslinie, die durch den Schmelzbeginn besonders gekennzeichnet ist, wird aber in einem regelmäßigen Glühbetrieb selten erreicht werden. Dadurch, daß die Korngrenzen vom Schmelzfluß zuerst erfaßt werden, tritt in diesen die eigenartige Erscheinung der Zersetzung des Stahles durch Sauerstoffzutritt auf (Abb. 215). Eine Verbrennung wird auch im Bruchgefüge sichtbar.

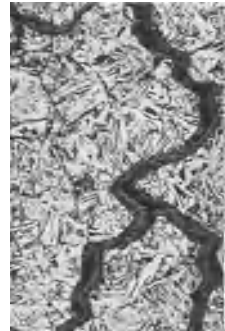


Abb. 215. Verbranntes Gefüge. Die dunklen Kristallbegrenzungen sind Oxydationsprodukte.  $\times 50$ .

### Umwandlung unterhalb und um $A_1$ .

Bei genauer Betrachtung des Eisenkohlenstoffschaubildes fällt auf, daß unterhalb etwa  $700^\circ$  keinerlei Gefügeänderungen eintreten können. Gefühlsmäßig pflegt jedoch jeder Praktiker seine Stahlerzeugnisse vollkommen im Ofen erkalten zu lassen, da er dadurch nicht nur innere Spannungen, sondern auch sonstige Änderungen der Werkstoffeigenschaften zu vermeiden gedenkt.

Borelius und Gunneson<sup>1</sup> vermuten weit unterhalb  $A_1$  (also der Perlitlinie) eine große Zahl kleiner Umwandlungen, die zwar nicht

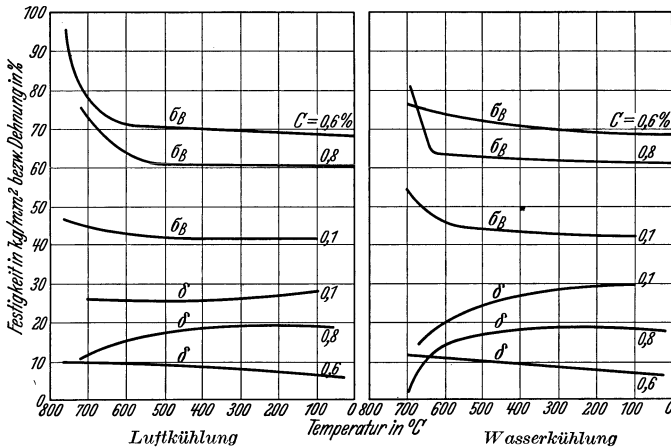


Abb. 216. Einfluß verschiedener Abkühlgeschwindigkeit unter  $A_1$  auf die Eigenschaften (nach Welter).

mehr wie die erforschten Umwandlungen sich in Gefügeänderungen äußern, aber nach Untersuchungen von Welter<sup>2</sup> die Zugfestigkeit mit steigender Dehnung wesentlich verringern (Abb. 216). Eigene Versuche mit mechanisch-technologischen Proben — bei verschiedenen Temperaturen unterhalb der Perlitlinie abgeschreckt — ergaben abweichendes Verhalten. Auch die merkwürdigen Erscheinungen des Alterns, des Blaubruchs und der Kraftwirkungslinien bei Stahl (Abschnitt 39, 40, 42) dürften für obige Überlegungen wertvoll sein.

Ein den praktischen Bedürfnissen häufig erwünschter Gefügestand ist der des körnigen Perlits, der durch längeres Glühen um den  $A_1$ -Punkt erzeugt wird (Abb. 217).

Der körnige Perlit ist die Gefügeart, in der Stahl wegen seiner außergewöhnlichen Weichheit die geringsten Kosten einer mechanischen Bearbeitung erfordert. Es ist aber auch das Gefüge, das den spannungslosesten Zustand gewährleistet. Ob der Zustand des körnigen Perlits

<sup>1</sup> Borelius u. Gunneson: Ann. Physik Bd. 67 S. 227.

<sup>2</sup> Welter: Stahl u. Eisen Jg. 43 Nr. 43.

immer erstrebenswert ist, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden, denn nach Zahlentafel 17 und 18 wird er von einer geringen Zugfestigkeit und Streckgrenze, nicht selten auch niedriger Schlagarbeit begleitet. Werden die Abnahmebedingungen auch durch Glühen auf den körnigen Perlit erfüllt, dann dürfte er dem lamellaren Gefüge (Abb. 218) vorzuziehen sein. Ratsam ist es nicht, ungeglühten oder überhitzten Werkstoff gleich auf den körnigen Perlit zu glühen, weil ein grobes Korn oder

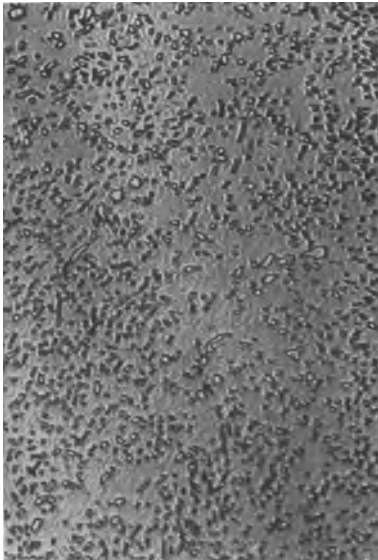


Abb. 217. Körniger Perlit.

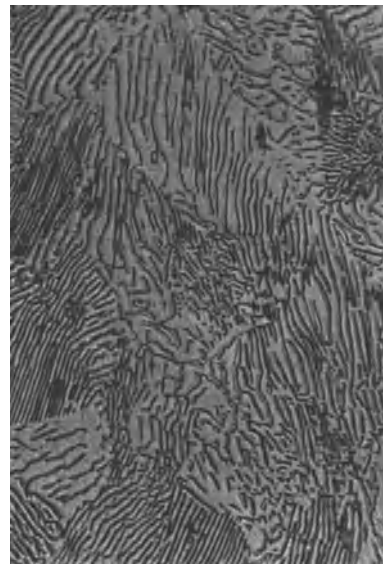


Abb. 218. Lamellarer streifiger Perlit.

Schmiedeeinflüsse nur durch Überschreiten des oberen Umwandlungspunktes ( $A_3$ ) beseitigt werden können. In jenem Fall bleiben im körnigen Perlit die ursprünglichen Perlitkornengrenzen bestehen; nur im Innern des Kornes entstehen die kennzeichnenden Gefügeveränderungen (Abb. 204). Soll der körnige Perlit als besondere Gefügeart in

Zahlentafel 17.

Glühzustand	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Werkstoff
Lamellar . . .	30,4	54,6	20,0	A
Körnig . . .	24,0	49,2	26,0	
Lamellar . . .	25,3	38,0	31,0	B
Körnig . . .	19,5	36,5	32,4	

einem Stahl erzeugt werden, so geschieht dies zweckentsprechend über die sog. Normalisierung, also über den oberen Umwandlungspunkt. Es mag vorkommen, daß bei spannungsfreiem Glühen die Temperatur in die

Zahlentafel 18. Festigkeitseigenschaften von Stahl mit 1,28% C nach C. H. Desch und A. T. Roberts.

Glühzustand	Zerreiβfestigkeit	Fließgrenze	Elastizitätsgrenze	Dehnung auf 125 mm	Ein-schnü-rung	Kerb-zähigkeit (Izod)
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	mkg
Normal geglüht . . . . .	78,5	37,0	34,6	4,5	4,0	0,14
Teilweise kugelig . . . . .	62,0	30,6	28,3	20,5	25,0	0,14
Vollständig kugelig . . . . .	58,0	26,8	19,6	26,0	30,0	0,14

Nähe des unteren Umwandlungspunktes geschoben wird, dann werden freilich die Eigenschaften unerwünscht geändert. Daher bringen die

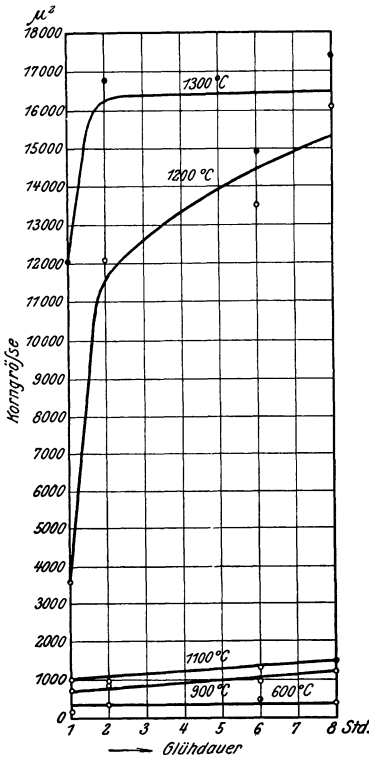


Abb. 219. Einfluß der Glühdauer bei verschiedenen Temperaturen auf die Korngröße von weichem Flußeisen (P o m p).

Abnahmevorschriften deutlich zum Ausdruck, daß die Probe nach der letzten Glühbehandlung zu entnehmen ist. Wie groß die Eigenschaftsänderungen von normalisierten auf den körnigen Perlit geglühten Werkstoffen sein können, zeigt sehr deutlich die Untersuchung eines hochprozentigen C-Stahles von C. H. Desch und A. T. Roberts (Zahlentafel 17). Bei Stählen niedrigeren C-Stoffgehaltes bewegen sich zwar diese Unterschiede in mäßigeren Grenzen, können aber doch die Abnahme erschweren, wenn die Werkstoffauswahl oder die nebenamtliche Vorprobe auf Grund anderer Glühbehandlung vorgenommen wurde, als die maßgebende Abnahmeprobe.

Durch Legierungselemente wird die Bildung des körnigen Perlits lebhaft begünstigt. Beim Vergüten eines gehärteten Stahles wird sehr leicht körniger Perlit dann erzeugt, wenn zu hoch und zu lang angelassen wird. Da aber jedes Vergüten eine Erhöhung der Festigkeit und Streckgrenze zum Ziele hat, so würde sich die Erzeugung eines körnigen Perlits als verfehlte unwirtschaftliche Maßnahme herausstellen.

Neben der Glühtemperatur, deren Höhe ja von der chemischen Zusammensetzung abhängig ist, fällt der Glühdauer eine oftmals bekannte Rolle zu. Wenn auch eine bestimmte Temperatur durch die Glühdauer bei niedriger Temperatur nicht ersetzt werden kann, so treten doch

nach der schematischen Darstellung<sup>1</sup> (Abb. 219) ähnliche Wirkungen auf wie bei Temperatursteigerung. Wie aber oben besprochen, hängen von der durch langes Glühen eintretenden Kornvergrößerung entsprechende Eigenschaftsänderungen ab. Wichtiger ist, die Glühdauer von der Masse oder Dicke des Glühgutes abhängig zu machen; denn zur vollkommenen Erzielung der beabsichtigten Temperatur im Innern eines kompakten Glühgutes ist eine entsprechende Glühdauer erforderlich.

Zur erfolgreichen Glühbehandlung gehört gleichfalls ein genügendes Verständnis für die Wirkung der Abkühlungsgeschwindigkeit, die bei der Besprechung der Härtung eingehend zu erörtern ist. Hier sei gesagt, daß die Verfeinerung des Gefüges

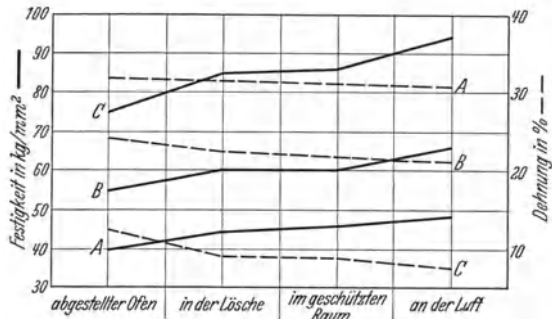


Abb. 220. Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften von der Abkühlungsgeschwindigkeit bei drei verschiedenen Kohlenstoffstählen A mit 0,16 C, B mit 0,29 C, C mit 0,52 C.

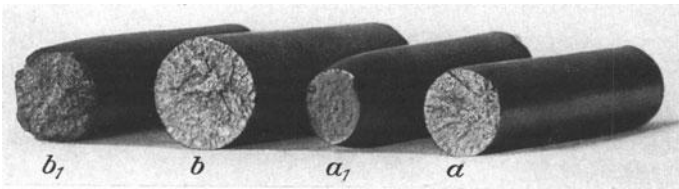


Abb. 221. Zugproben ungeglüht ( $a$   $b$ ) und geglüht ( $a_1$  und  $b_1$ ).  $a$  Werkstoff 60 : 11, im ungenügend geglühten Zustand, als spröder Werkstoff infolge Materialfehler frühzeitiger Bruch ohne Dehnung und Kontraktion.  $a_1$  Derselbe, geglüht, würde kerbähnliche Fehlstellen ausgleichen, da Dehnung und Kontraktion vorhanden.  $b$  Werkstoff 70 : 11, ungeglüht, mit geringer Dehnung.  $b_1$  Derselbe, jedoch geglüht mit hohem Formänderungsvermögen.

mit der Abkühlungsgeschwindigkeit wächst. Für das Ergebnis einer Wärmebehandlung, die nur die Normalisierung zum Ziele hat, kommt nur die langsame Erkaltung im abgestellten Ofen und die schnellere Luftabkühlung bzw. etwas milderen Abkühlungsmethoden in Frage. Je höher nun der Kohlenstoff eines Werkstoffs liegt, desto empfindlicher ist er gegen Abkühlungsvariationen. Die Abb. 220 belehrt über die Eigenschaftsänderungen verschiedener Abkühlungsgeschwindigkeiten an drei Stahlorten.

Rein äußerlich wird sich ein geglühter, aber verformter Stahl bis zu einem Kohlenstoff von etwa 0,30% kaum unterscheiden. Nur die Dehnung nimmt mit entsprechender Verformungstemperatur erheblich

<sup>1</sup> Oberhoffer: Das technische Eisen.

ab, während die Kontraktion und Kerbzähigkeit zumeist steigende Tendenz aufweisen. Bei höheren Kohlenstoffgehalten ist allerdings ein ungeglühter Stahl sehr kerbempfindlich und dürfte wohl ausnahmslos ohne nennenswerte Dehnung und Kontraktion frühzeitig kristallinisch zu Bruch gehen (Abb. 221).

Um sachgemäß glühen zu können, müssen geeignete Einrichtungen zur Verfügung stehen. Dies um so mehr, als einige Abnahmegesellschaften die Abnahme von Werkstücken überhaupt von dem Vorhandensein geeigneter Glüheinrichtungen abhängig machen. Als Nachweis einer vorschriftsmäßigen thermischen Behandlung werden von manchen Bestellern sogar die durch Wärmemesser automatisch aufgetragenen Glühdiagramme verlangt. Wenn auch ein Abnehmer, soweit ihm die ganze Werkstoff- und Bauüberwachung übertragen ist, nach seinen Vorschriften jederzeit das Recht hat, dem Glühvorgang beizuwohnen, so wird er sich allerdings in den meisten Fällen aus praktischen Gründen auf die Angaben der Hersteller verlassen müssen.

Es ist leider eine bedauerliche Tatsache, daß über die Glühbehandlung wenig Klarheit besteht und viele Abnahmemißerfolge sind auf ihr Konto zu schreiben. Eine sehr bemerkenswerte Umfrage über die angewendete Glühtemperatur bei Baustählen ergab noch vor einigen Jahren die kennzeichnende Feststellung, daß man meistens bei 800° glühe. Man macht sich demnach in manchen Betrieben offenbar darüber keine Gedanken, ob man je nach der chemischen Zusammensetzung den einen Stahl schon überhitzt und den andern auf keinen Fall ausgeglüht habe. Es kann hier der technische Rat nicht entbehrt werden, will man den Vorschriften gemäß einen Werkstoff zur Abnahme vorbereiten, das Glühen nach bestimmten Grundsätzen regeln und einer Kontrolle unterziehen.

Auf die Glüheinrichtungen selbst kann im Rahmen dieser Betrachtungen nicht eingegangen werden. Es sei aber auf die allgemeinen Grundsätze hingewiesen, die bei jedem Ofenbetrieb beachtet werden sollten: Das Glühgut darf nicht in tote Ecken gelegt werden, in denen eine zweckentsprechende Temperatur überhaupt nicht erreicht werden kann. Die dünnwandigen Stücke dürfen nicht der Flammennähe ausgesetzt und die dickwandigen nicht in die Mitte des Glühgutes gelegt werden. Die Glühzeit richtet sich nach Dicke und Menge der Werkstücke, die Glühtemperatur nach der chemischen Zusammensetzung. Die Temperatur ist grundsätzlich mit einem Wärmemesser, nie nach Augenmaß festzustellen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> R. Schäfer: Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung.



## 47. Glühwirkungen beim Stahlguß.

Jene Zeit dürfte noch in guter Erinnerung sein, als das Glühen des Stahlgusses, wenn es überhaupt geschah, nur die Bedeutung eines spannungsfreien Glühens hatte. Die angewandten Temperaturen waren



Abb. 222. Zwei nebeneinanderliegende Zugproben desselben Stahlgusses. *a* ungeglüht mit der typisch ausgeprägten knitterigen Oberfläche, *b* geglüht mit glatter Oberfläche.

keineswegs wissenschaftlich begründet und entsprachen dem subjektiven Empfinden des Einzelnen. Auch die Mehrzahl der Abnahmevorschriften hat erst in den letzten Jahren Grundsätze über zweckentsprechende Wärmebehandlung aufgenommen. Eine dahingehende Kontrolle ist nur in wenigen Fällen abnahmeseitig vorgesehen.

Es ist leicht einzusehen, daß in Hinsicht auf Glühbehandlung zwischen Stahlguß und Schmiede- bzw. Walzwerkstoff zu unterscheiden ist. Mag auch der Grundstoff, nämlich schmiedbarer Stahl, derselbe sein: man vergesse aber nicht die durch die thermische und mechanische Vorbehandlung der Schmiede- und Walzwerkstoffe erzeugte Strukturverfeinerung gegenüber der noch ursprünglichen, groben Gußstruktur

des Stahlgusses. Nach der Normalisierung stattgefunden, ist allerdings ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden nicht mehr vorhanden.

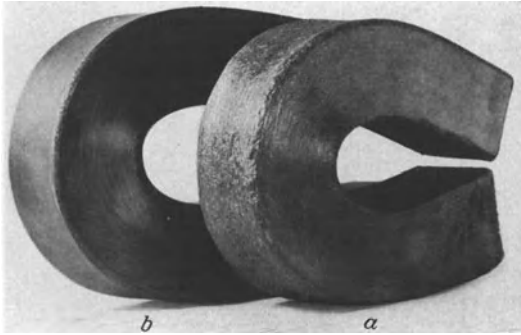


Abb. 223. Biegeproben aus Stahlguß *a* ungeglüht (Außenfaser), knitterig, *b* gegläht, glatte Oberfläche. Beide genügen den Vorschriften.

linischen Bruchgefüge erkannt. Im Gegensatz zum Schmiedestahl wird der ungeglühte Zustand des Stahlgusses an

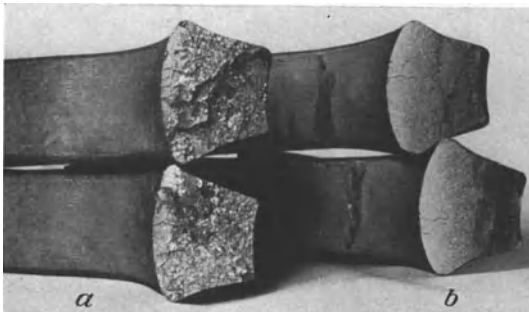


Abb. 224. Dasselbe wie Abb. 223, jedoch durchgebrochen. Auch hier zeigt die ungeglühte Probe im Gegensatz zur geglähten ein grobes Gefüge. *a* ungeglüht, *b* gegläht.

seiner Wärmebehandlung (Zahlentafel 19). Aus diesem Grunde haben einige Abnahmevorschriften die Kerbschlagprobe als Maßstab der Glühbehandlung für Stahlguß gewählt. Mit Rücksicht auf die Bedeutung dieser Erkenntnis haben auch andere Abnehmer bzw. Verbraucher, entsprechende Ergänzungen der Stahlgußprüfung in Vorbereitung.

Auch im Wärmegebiet des körnigen Perlits ändern sich die Merkmale des ungeglühten Zustandes nicht. Solange die groben Kristalle noch gleichartige Elemente darstellen<sup>1</sup>, bleibt die Knitterigkeit bestehen und die Kerbschlagarbeit verbleibt im Zeichen niedriger Werte. Erst mit Überschreitung des *A 3*-Punktes hat sich statt des grobmaschigen

Wie oben besprochen, gelten auch hier die Gesetze für die metallographischen und mechanisch-technologischen Veränderungen in dem ganzen Wärmegebiet unterhalb *A 1* bis zur Soliduslinie.

Der ungeglühte Stahlguß wird an der knitterigen Oberfläche eines beanspruchten Stabes und beim Trennungsbruch an dem grobkristal-

linischen Bruchgefüge erkannt. Im Gegensatz zum Schmiedestahl wird der beim statischen Versuch erzeugten Verformung (Dehnung und Einschnürung) kaum sichtbar; denn die an sich groben Kristalle zeigen eine hohe Verformungsfähigkeit, die eine hohe Dehnung und Einschnürung im Gefolge hat (Abb. 222 bis 225). Nur die Kerbschlagprobe liefert zahlenmäßige Kennzeichen für die Beurteilung

<sup>1</sup> Oberhoffer: Das technische Eisen S. 347.

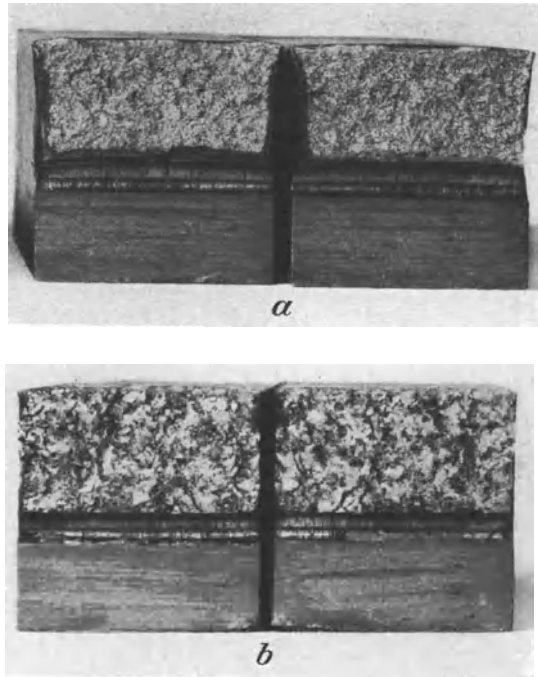


Abb. 225. Derselbe Werkstoff wie in Abb. 222. Zwei Kerbschlagproben. *b* ungeglüht mit grobkristallinischem Bruchgefüge, *a* geglüht mit feinkörnigem Bruch. Während der Zugversuch keinen wesentlichen Unterschied der beiden Zugproben ergab, wurden in dem Kerbschlagbiegeversuch zwischen den beiden Proben Unterschiede von 400 % gefunden.



Abb. 226. Gußstruktur.



Abb. 227. Zu hoch bzw. zu lange geglüht. Teilweise Gußstruktur wie in Abb. 226.

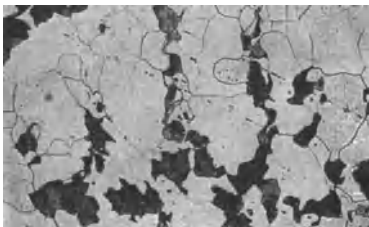


Abb. 228. Richtige Glüh Temperatur bei zu langsamer Abkühlung.

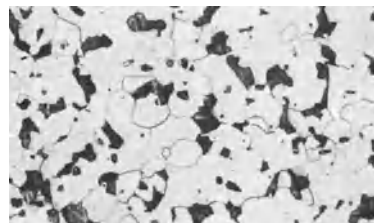


Abb. 229. Richtige Wärmebehandlung, bei normaler Temperatur und Abkühlung.

Gußgefüges ein Konglomerat gleichmäßig verteilter, individuell orientierter kleinerer Perlit- und Ferritkörner gebildet. Das Äußere der Oberfläche

Zahlentafel 19.

Glühzustand	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kerb- zähigkeit mkg/cm <sup>2</sup>
A. Ungeglüht .	44,0	31,5	2,2
Geglüht . .	44,5	30,0	10,9
B. Ungeglüht .	54,4	20,3	1,8
Geglüht . .	53,5	22,0	5,4

eines gebrochenen Probestabes und das Mikrogefüge weisen das Gefüge eines gut ausgeglühten Schmiedestahles auf. In Zahlentafel 19 sind Eigenschaftsänderungen desselben Stahlgusses aufgestellt (Abb. 226—230).

Das oben geschilderte Verhalten des Stahlgusses vor und nach seiner Wärmebehandlung scheint bei Kohlenstoffgehalten von mehr als etwa 0,4% nicht mehr gültig zu sein. Die äußeren Merkmale werden schon deswegen unsicher

und unübersichtlich, weil sich kohlenstoffreicherer Stahlguß sehr empfindlich gegen geringe Werkstofffehler zeigt und daher infolge Kerbwirkung vor vollständiger Verformung zu Bruch geht. Nennenswerte Kerbzähigkeiten sind dann nicht mehr zu erwarten, da auch die Glühbehandlung bei fehlerhaftem Werkstoff jede Wirkung einbüßt.



Abb. 230. Vergütet; reiner, gleichmäßiger Sorbit.  
Gefügebilder desselben Stahlgusses verschiedener Wärmebehandlung.

Abnahmetechnisch dürfte der Stahlguß Abnehmern und Erzeugern nicht selten unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten, da ihm nach seiner ganzen Konstitution eine gewisse Unzuverlässigkeit innewohnt. Entscheidend ist aber die ungewöhnliche Erhöhung der Dehnungswerte als Kriterium der Werkstoffreinheit und die Einführung der Kerbschlagprobe als Nachweis richtiger Glühbehandlung, so daß nur noch solche Stahlgußhersteller für abnahmepflichtige Lieferungen in Frage kommen, die erstklassigen Stahlguß erzeugen.

## 48. Eigenschaftsänderung durch Vergütung.

Das höchste Maß an Gütesteigerung eines Stahles erhält man durch die Vergütung. Unter Vergütung versteht man ein Härten des Stahles durch Abschrecken aus einer höheren Temperatur mit darauffolgendem Anlassen, d. h. nochmaligem Erwärmen auf eine niedrigere Temperatur. Durch das Abschrecken in Öl, Wasser oder einem anderen Abkühlungsmittel erhält ein Stahl je nach seiner Legierung eine außergewöhnliche Härte neben einer freilich unerwünschten Sprödigkeit. Hierbei wird das Kleingefüge martensitisch; das Bruchgefüge weist das denkbar kleinste

Korn auf und zeugt von hoher Sprödigkeit. Durch Erwärmen des abgeschreckten Stahles unterhalb der Perlitlinie, durch das sog. Anlassen, wird seine Härte und Sprödigkeit außerordentlich gemildert, der Stahl hat wieder ein erhöhtes Formänderungsvermögen zurückerhalten und ist vergütet.

Die Vergütungsvorgänge verlaufen so gesetzmäßig, daß man auf Grund der chemischen Analyse und eines bestimmten Vergütungsmodus die Eigenschaften eines Stahles mit einiger Sicherheit voraussagen kann.

Nach Abb. 231 nach Wendt werden die hauptsächlichsten Stahleigenschaften durch Anlassen außerordentlich vielseitig geändert. Danach sind für einen bestimmten Kohlenstoffgehalt alle zwischen der Festigkeitslinie des geglähten und der Festigkeitslinie des gehärteten Zustandes liegenden Festigkeiten mit entsprechenden Streckgrenzen und Dehnungen möglich. Da aber gehärteter Stahl hohe innere Spannungen birgt, die erst bei höheren Anlaßtemperaturen befriedigend beseitigt werden können, so dürften tiefe Anlaßtemperaturen, insbesondere bei gewöhnlichen Kohlenstoffstählen zur Erzeugung hoher Festigkeitseigenschaften nicht geeignet sein. Wenn sich dagegen die Anlaßtemperaturen in der Nähe der Perlitlinie bewegen, dann wird ein sorbitisch-perlitisches Gefügekonglomerat fast alle Vorteile der Vergütung verwischen. Trotzdem verbleibt auch dann noch dem Stahl eine schätzenswerte Feinkörnigkeit des Bruchgefüges.

Der Qualitätsgewinn durch Vergütung unlegierter Kohlenstoffstähle ist nicht allzu hoch einzuschätzen; denn die Vergütewirkung reicht nur in geringe Tiefen eines Querschnitts (Abb. 10). Sind in Kohlenstoffstählen höhere Mangangehalte vorhanden, dann wird außerdem noch die sog. Anlaßsprödigkeit als eine unerwünschte Nebenerscheinung auftreten. Immerhin mag es öfter vorkommen, daß besondere Abmachungen oder Umstände ein Härten, also Abschrecken der Stähle mit geringen C-Stoffgehalten und ein Vergüten solcher Stähle von 0,3 C aufwärts bedingen. Die meisten Abnahmevorschriften schweigen

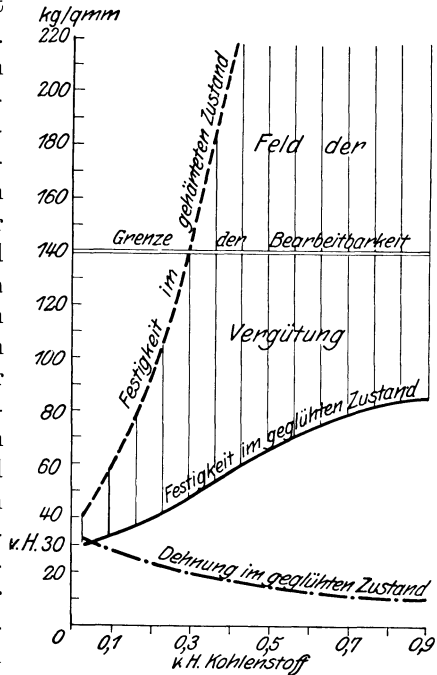


Abb. 231. Festigkeitseigenschaften eines Kohlenstoffstahles in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt (Wendt).

sich über die Zulässigkeit des Härtens bzw. des Vergütens merkwürdigerweise aus.

Wenn die den Härtvorgang beeinflussenden Faktoren richtig gewählt sind, werden schon bei weichen Kohlenstoffstählen beachtenswerte Eigenschaftsänderungen beobachtet (Abb. 232, 233 und 234). Mit steigendem Kohlenstoffgehalt kann insbesondere die Streckgrenze wesentlich erhöht werden. Dies kann aus dem Grunde von hoher praktischer Bedeutung sein, weil bei steigendem Kohlenstoffgehalt das Verhältnis der Streckgrenze zur Zugfestigkeit ungünstiger wird. Andererseits geht

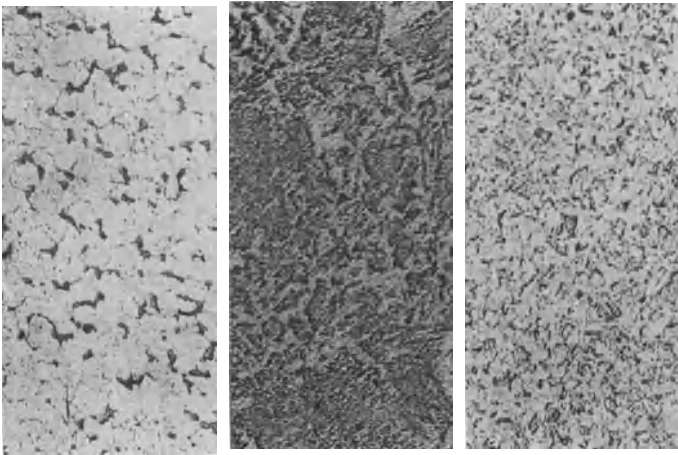


Abb. 232.

Abb. 233.

Abb. 234.

Ein weicher *b*-Stahl mit 0,15 C. Abb. 232. Unbehandelt mit 41,2 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit und 26% Dehnung (10  $\bar{d}$ ). Abb. 233. Derselbe, jedoch in Wasser gehärtet mit 54 kg/mm<sup>2</sup> und 19% Dehnung (10  $\bar{d}$ ). Abb. 234. Derselbe, aber wie in Abb. 233 abgeschreckt und niedrig angelassen mit einer Festigkeit von 46 kg/mm<sup>2</sup> und einer Dehnung von 23% (10  $\bar{d}$ ).

aus den Abb. 232 und 234 hervor, daß durch Härtung oder Vergütung eines gewöhnlichen *C*-Stahles die Gesamteigenschaften nicht nennenswert gesteigert werden.

Günstiger als die gewöhnlichen Kohlenstoffstähle werden die mit Nickel, Chrom, Mangan, Silizium, Vanadium, Molybdän und Wolfram legierten Stähle von einer Vergütung beeinflusst. Meistens genügen schon einige Prozent des Legierungsbestandteiles, um eine hervorragende Vergütbarkeit zu erzielen. Diesen günstigen Umstand macht man sich zunutze und verwendet daher für hochbeanspruchte Werkstücke sog. Vergütungsstähle, deren Verwendung zumeist trotz des höheren Kaufpreises gerechtfertigt ist.

Zunächst sind es die Nickelstähle, die sich ein großes Verwendungsgebiet erobert haben. Ganz abgesehen davon, daß sie eine Vergütung bei erheblich tieferen Temperaturen als die Kohlenstoffstähle gestatten, werden alle Eigenschaften ansehnlich gesteigert. Zur Erzielung des

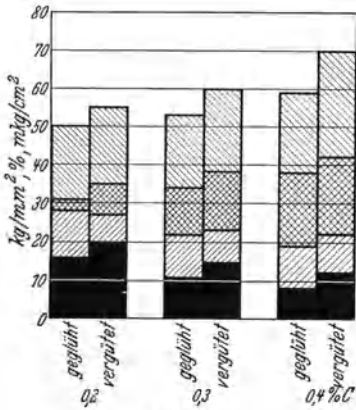


Abb. 235.

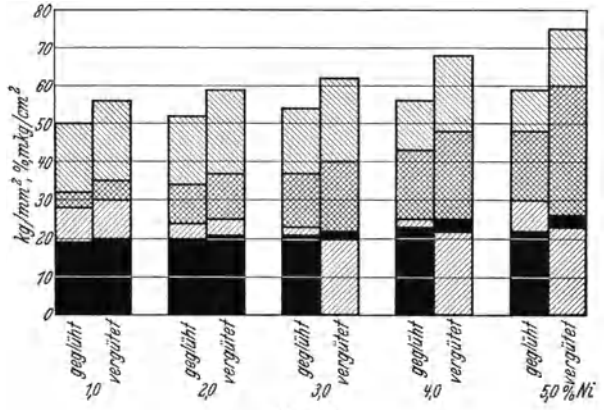


Abb. 236.

Abb. 235. Vergütbarkeit von niedrig legiertem Ni-Stahl (1 % Ni) in Abhängigkeit vom Kohlenstoff.

Abb. 236. Vergütbarkeit eines Ni-Stahles von 0,4 C in Abhängigkeit vom Nickelgehalt.

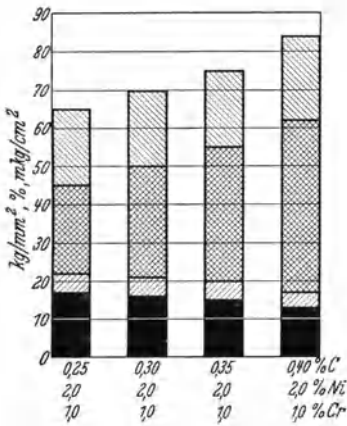


Abb. 237.

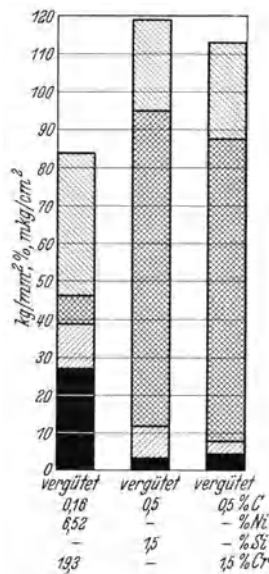


Abb. 238.

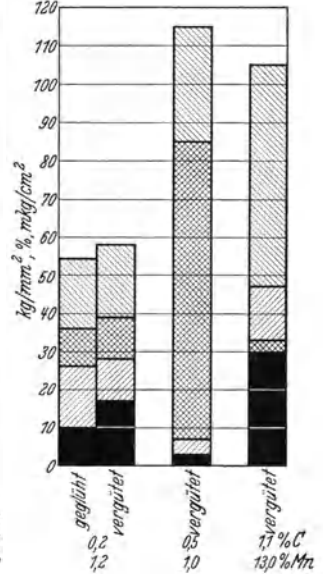


Abb. 239.

Abb. 237. Abhängigkeit der Eigenschaften vom Kohlenstoff bei derselben Chrom-Nickellegierung (vergütet).

Abb. 238. Beeinflussungen der Eigenschaften durch Chrom, Silizium und Chrom-Nickel (vergütet).

Abb. 239. Einige vergütbare Mangansonderstähle mit den gewonnenen Eigenschaften. Anmerkung: Durch Änderung der Wärmebehandlung lassen sich alle Eigenschaften stark verändern.

Martensits, also des Härtungsgefüges im ganzen Querschnitt unter gleichen Verhältnissen, sind nach Wendt

für C-Stahl 6 Sekunden,

für 5%igen Nickelstahl 60 Sekunden,

für Chrom-Nickel-Stahl (3 Ni, 1 $\frac{1}{2}$ % Cr) 500 Sekunden

nötig.

Aus Abb. 235 ist der Einfluß des Kohlenstoffs bei 1% Nickel und aus Abb. 236 der Einfluß des Nickels bei demselben Kohlenstoffgehalt (0,20% C) ersichtlich.

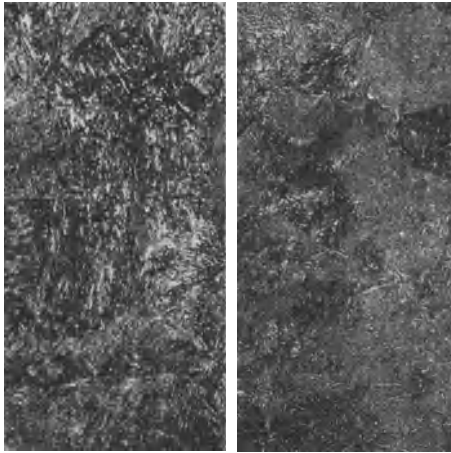


Abb. 240.

Abb. 241.

Abb. 240. Grobmartensitisches Härtegefüge eines geringprozentigen Chrom-Nickel-Stahles mit 0,3 C (falsch vergütet).

Abb. 241. Dasselbe. Feinmartensitisches Härtegefüge eines geringprozentigen Chrom-Nickel-Stahles mit 0,3 C (richtig vergütet).

Mehr noch als diese werden die auch in DIN 1662 bewerteten Chrom-Nickel-Stähle für hochbeanspruchte Kraftwagenteile und Großmaschinenteile verwendet.

Die Chrom-Nickel-Stähle können ihre Vergütbarkeit sowohl von einem höheren Nickel-, Chrom- oder auch Kohlenstoffgehalt ableiten. Dabei pflegt man den Chromgehalt mengenmäßig wegen seines starken Härteeinflusses möglichst niedrig zu halten (Abb. 237).

Zusammenfassend kann man sagen: Nickel verleiht dem Stahl neben seinen guten Härteeigenschaften ein hohes Formänderungsvermögen und denkbar höchste Kerbzähig-

keit. Das Chrom dagegen erzeugt neben einer hohen Festigkeit und Streckgrenze eine verhältnismäßig gute Dehnung. Durch das Zusammenwirken der Elemente Chrom-Nickel wird ein besonders brauchbarer Stahl erhalten (Abb. 237).

Der Vollständigkeit halber sei hinzugefügt, daß auch Manganstähle im Vergütungszustand verwendet werden. Als austenitischer Stahl mit einem Mangangehalt von 12 bis 15% erreicht er vergütet eine außerordentliche Verformbarkeit und Zähigkeit. Auch niedrig legierte Manganstähle, die sich durch hohe Streckgrenzen auszeichnen, sind in Abb. 239 nach ihren Eigenschaften bewertet. Höher legierte verlieren vollkommen ihre Bearbeitbarkeit. Die in Abb. 235—239 bildlich dargestellten Eigenschaften einiger typischer vergütbarer Werkstoffe lassen sich selbstverständlich durch andere Härte- und Anlaßtemperaturen leicht abändern.



Der Erfolg einer Härtung bzw. Vergütung ist freilich von einer Anzahl bemerkenswerter Faktoren abhängig. Zunächst ist es die Härtetemperatur, die sich bei den untereutektoiden Stählen, und dazu gehören in der Regel die abnahmepflichtigen Baustähle, um den  $A_{c3}$ -Punkt bewegen muß. Es gilt hier in vollem Umfange das über das Glühen Gesagte, wonach das feinste Korn in der Nähe des oberen Umwandlungspunktes erzielt wird. Mit dem feinsten Korn ist aber die höchste Härte zu erwarten. Mit steigender Härte-temperatur tritt nicht nur eine proportionale Vergrößerung des Kornes ein, sondern auch ein beschleunigter Härteabfall durch das bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Kohlenstoff sichere Auftreten des Austenitgefüges<sup>1</sup>. Durch eine magnetische Untersuchung würde man das Vorhandensein des weichen unmagnetischen

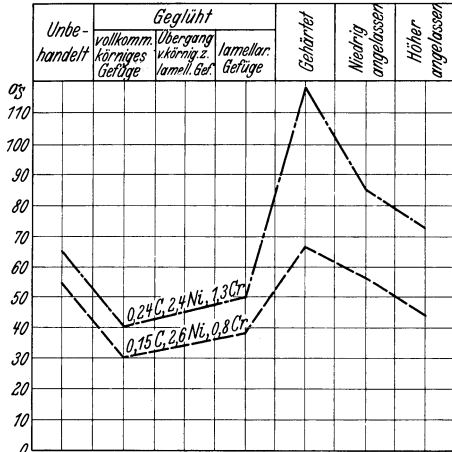


Abb. 242. Streckgrenzenbeeinflussung durch verschiedene Wärmebehandlung von zwei legierten Stählen verschiedener chemischer Zusammensetzung.

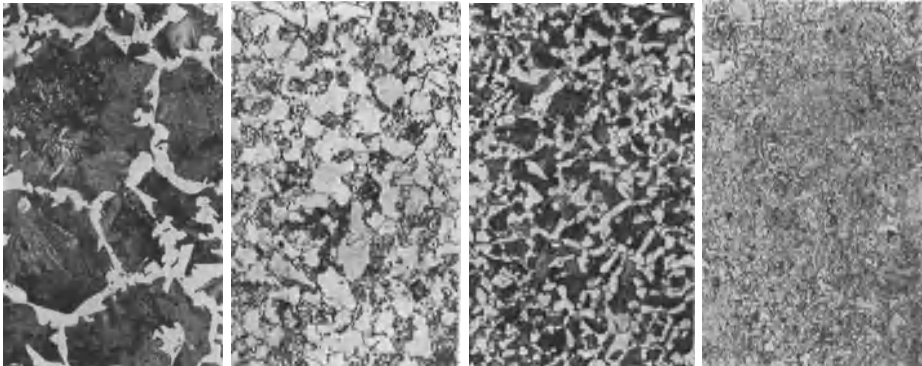


Abb. 243. Ein Stahl mit 0,43 C-Gehalt. Abb. 243. Überhitzungsstruktur, unbehandelt. Abb. 244. Weich geglüht (körniger Perlit). Abb. 245. Normalisiert (lamellarer Perlit). Abb. 246. Vergütet (Sorbite).

Austenits feststellen können. Will man durch Vergütung die bestmöglichen Eigenschaften eines Stahles erhalten, dann sind der Härte- und

<sup>1</sup> Austenit hat 180—240, Ferrit 60, Zementit des Perlits 400 und der Martensit 600 Brinelleinheiten.

Anlaßtemperatur insbesondere bei legierten Stählen enge Grenzen gesetzt. Es werden daher von vielen Stahlwerken entsprechende Anweisungen für jeden Stahl mitgegeben.

Gleiche Bedeutung wie der Härtetemperatur kommt der Abkühlungsgeschwindigkeit zu. Diese ist aber weitestgehend von dem Abkühlungsmittel (Öl, Wasser, Luft) abhängig.

Die Höhe der Anlaßtemperatur wird durch die beabsichtigte Festigkeit bestimmt. Wie schon eingangs angedeutet, ist nach Abb. 242 die Festigkeit um so höher, je niedriger die Anlaßtemperatur gewählt und umgekehrt werden die Festigkeitsverhältnisse denen des ungeglühten Zustandes um so ähnlicher, je näher die Anlaßtemperatur sich dem Umwandlungspunkt nähert<sup>1</sup>. Wieweit es möglich ist, durch die verschiedene Wärmebehandlung die Werkstoffeigenschaften und Werkstoffgefüge zu beeinflussen, zeigen Abb. 242—246.

## 49. Die Werkstoffverunreinigung als Eigenschaftsfaktor.

Alle Werkstoffe, Stahl und Nichteisenmetalle, finden in nichtmetallischen oder einigen metallischen Beimengungen ihre ärgsten Feinde. Die Qualität eines Stahles dürfte in erster Linie von der chemischen

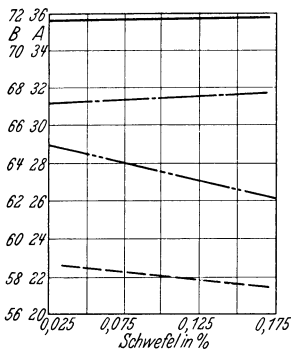


Abb. 247. Einfluß des Schwefels auf die Festigkeitseigenschaften von 18 mm Rundstäben mit 0,09 % C (nach Unger).

A — Festigkeit in kg/mm<sup>2</sup>;  
B — Elastizitätsgrenze in kg/mm<sup>2</sup>;

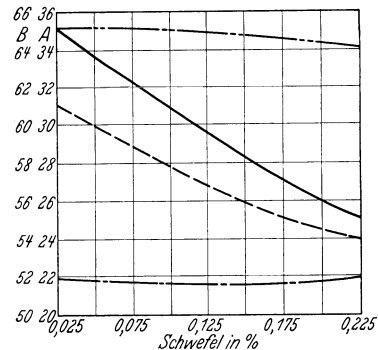


Abb. 248. Einfluß des Schwefels auf die Festigkeitseigenschaften von Achsenstahl mit 0,51 % C (nach Unger).

B — Dehnung in % (200 mm);  
B — Kontraktion in %.

Zusammensetzung abhängig sein. Die Anwesenheit verunreinigender chemischer Bestandteile setzt jedoch die erwünschten guten Eigenschaften auf ein bedenkliches Minimum herab, so daß die Frage ihrer Fernhaltung von außerordentlicher Bedeutung und allgemeinem Interesse ist. Mag es auch in der Hand des Erzeugers liegen, die Menge der

<sup>1</sup> Oberhofer S. 459.

wesensfremden Elemente des Stahles herabzusetzen und ihre Wirkung durch mechanische Bearbeitung zu mildern; sie fernzuhalten oder vollkommen unwirksam zu machen, hat sich als unmöglich erwiesen. Die Stahlschädlinge sind zwar verschiedener Natur, treten aber zumeist in ihrer Gesamtheit auf. In homogener Verbindung im Eisen ist ihr ungünstiger Einfluß weniger bedenklich, werden diese Schädlinge dagegen in elementarer Form vorgefunden, dann sind ihre schädigenden Wirkungen unberechenbar.

In metallischen Werkstoffen ist der Schwefel am meisten gefürchtet. Wenn auch die instruktiven Untersuchungen von Unger über die nachteiligen Einflüsse des Schwefels auf die Festigkeitseigenschaften des Stahles nach Abb. 247—248 zu Bedenken Anlaß geben, so übersehe man andererseits nicht, daß solche hohen Schwefelgehalte in der modernen Erzeugung abnahmepflichtiger Werkstoffe nicht mehr vorkommen; ganz abgesehen von der Tatsache, daß manche Abnahmebedingungen selbst Schwefel- und Phosphorgehalt vorschreiben. Dieses Maximum liegt zwischen 0,04 und 0,07%. Beachtlich ist noch jene hervorstechende Tatsache, nach der mit steigender Festigkeit bzw. steigendem Kohlenstoffgehalt der ungünstige Einfluß des Schwefels auf die Werkstoffeigenschaften erheblich zunimmt. Dieses gilt in erhöhtem Maße von der Warmsprödigkeit, die sich bei der Werkstoffabnahme durch Versagen mancher technologischen Proben bemerkbar macht (Abschnitt 24 und 41).

Im Gegensatz zum Schwefel, dessen Warmbrüchigkeit betont wird, wird dem Phosphor die Kaltbrüchigkeit nachgewiesen. Es wäre demnach ebenso unmöglich, einen hochphosphorhaltigen Stahl kalt, wie einen hochschwefelhaltigen warm zu verarbeiten. Eine stark durch Phosphor verunreinigte Kaltbiegeprobe bricht schon bei einem geringen Biegewinkel, eine durch Schwefelanreicherung geseigerte Warmstauchprobe zeigt tiefe Risse. Nach Untersuchungen von d'Amica und Oberhoffer<sup>1</sup> liegen die Werte von Kerbschlagproben infolge der erhöhten Sprödikeitszunahme durch reichlichen Phosphorgehalt stets unten. Im übrigen werden die Werkstoffeigenschaften durch Phosphor nach Abb. 249 beeinflusst. Wenn der Phosphorgehalt sogar bis 1% vorgeschrieben wird, so handelt es sich um Erzeugnisse, deren Sprödikeit ein erwünschtes Kennzeichen ihrer Qualität ist.

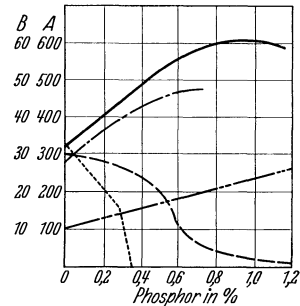


Abb. 249. Einfluß des Phosphors auf die Festigkeitseigenschaften, Härte u. Schlagarbeit von Fluiseisen (nach d'Amico).  
*B* — Zugfestigkeit in kg/mm<sup>2</sup>;  
*B* --- Dehnung in %;  
*B* ···· Streckgrenze in kg/mm<sup>2</sup>;  
*A* - · - · - · Härte (nach Brinell);  
*B* - - - - Schlagfestigkeit mkg/cm<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Oberhoffer: Das technische Eisen S. 197.

Da sowohl Schwefel als auch Phosphor und Kohlenstoff in Verbindung mit Eisen gerne seigern, d. h. eine zonenweise Anreicherung dieser

Zahlentafel 16. Zusammensetzung zweier untersuchter Schienen in der äußeren und mittleren Zone.

Probelage	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Kon- traktion %
Werkstoff:			
I. { a) Rand	38,7	32,5	58
{ b) Mitte	40,3	26,0	46
II. { a) Rand	50,0	26,5	54
{ b) Mitte	50,6	22,0	32

Elemente im Stahl darstellen, so darf es nicht wundernehmen, wenn in den verschiedenen Zonen einer ausgewalzten Eisenbahnschiene bis zu 100% Unterschied an Gehalt genannter Elemente, insbesondere des Schwefels, gefunden werden. Nur dadurch können die merkwürdigen Abweichungen mechanisch-

technologischer Eigenschaften von Proben desselben Werkstückes erklärt werden (Zahlentafel 16). Es geht auch hieraus erneut hervor, welche

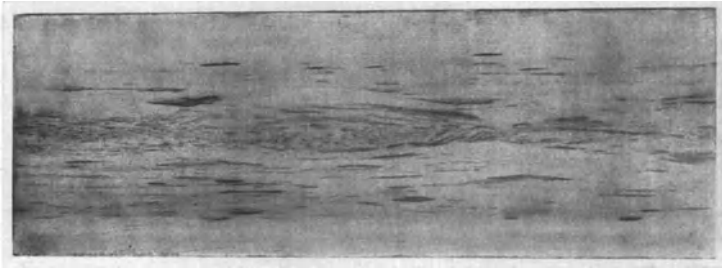


Abb. 250. Stark verunreinigtes Blech. In der Mittelzone des Bleches lange Schlackenadern.

grundsätzlichen Bedenken gegen die willkürliche Probeentnahme erhoben werden müssen.

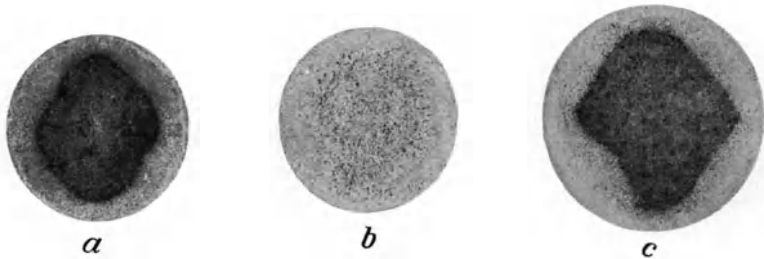


Abb. 251. Sog. Schwefelabdrücke von Rundstangen.

Die durch eine Schwefel-, Phosphor- und Kohlenstoffanreicherung hervorgerufene Seigerung befindet sich in der Kernzone eines Blockes und entsteht infolge einer Entmischung während der vom Rand zur

Mitte eines Blockes vorgehenden Erstarrung. Die Seigerungselemente bilden hier in Lösung gegangene Bestandteile des Eisens und verursachen eine abweichende chemische Zusammensetzung gegenüber derjenigen des Blockrandes. Die geseigerte Kernzone, die je nach dem Maß der Verunreinigung einen größeren oder kleineren Raum einnehmen oder in einer schwächeren oder stärkeren Konzentration ihren Ausdruck finden kann, ist zumeist charakteristisch scharf gegen die nichtgeseigerte Randzone abgegrenzt (Abb. 250—252). Die beiden verschiedenartigen Materialzonen machen alle Formänderungen des Gußblockes bei der Verarbeitung (Schmieden, Walzen) mit, so daß z. B. im Draht, in einem Rohr, in einer verarbeiteten Welle die Kernzone durch Ätzung wieder freigelegt werden kann. Sind die Seigerungen stark konzentriert, dann darf man eine merkliche Änderung der Werkstoffeigenschaften vom Rand zum Kern erwarten; sind sie dagegen geringeren Ausmaßes, dann ergeben sich zwischen Rand und Mitte keine merklichen Unterschiede.

Es werde der Hinweis nicht versäumt, daß stark geseigerte Werkstoffe ungenügend feuerschweißen. Da aber eine Anzahl Abnahmevorschriften die Schweißprobe für bestimmte Werkstoffe als ausschlaggebende Zusatzprüfung ansehen, dürften Versager, auch wenn alle andere Prüfungen bedingungsgemäß verlaufen, zu Zurückweisungen von Werkstoffen führen.

Der Erstarrungsvorgang des Stahles beginnt von außen an den Wänden einer Gußform und schreitet nach innen fort. Mit Übergang von dem flüssigen in den festen Zustand eines Metalles wird das Volumen

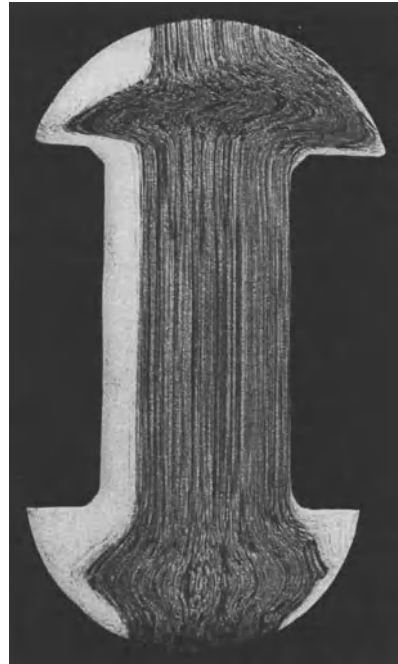


Abb. 252. Ätzung mit verdünnter Salzsäure. Starker Angriff an der geseigerten Fläche, die sich nicht symmetrisch im Niet verteilt, sondern einseitig austritt. Daraus gefertigte technologische Warmproben pflegen häufig zu versagen.



Abb. 253. Lunkerbildung. A Kopflunker, B Fadenlunker.

vermindert, was schließlich im Kern bzw. Kopf eines Blockes oder sonstigen Gußstückes zu einem Schwindungshohlraum führen muß.

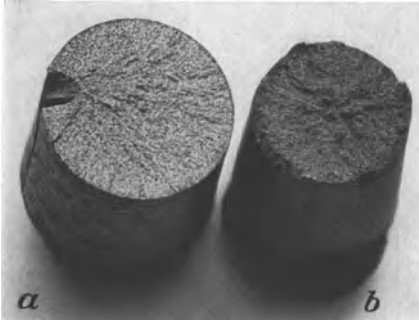


Abb. 254. *a* Schlackenstelle am Rande eines Probestabes von St. 60:11. Durch Kerbwirkung trat vorzeitiger Bruch ohne Formänderung ein. *b* Aus derselben Stange hinter der *a*-Probe entnommen, jedoch ohne Fehlstelle; diese Probe war in allen Eigenschaften bedingungsgemäß.

Dieser Schwindungshohlraum, Lunker genannt, kann sich je nach der gußtechnischen Voraussetzung im Kopf (Abb. 253 *A*) oder fadenartig durch das ganze Gußstück hindurchziehen (Abbildung 253 *B*). Wird er nur im Kopf gefunden, so kann er die Qualität des Werkstoffs nicht nachteilig beeinflussen, da dieser Teil eines Gußstückes als sog. verllorener Kopf abgeschnitten wird. Ein Fadenlunker, der nach Abb. 253 *B* teilweise sogar noch mit der Luft in Berührung steht und dadurch oxydiert, hat immer nachteilige Folgen

für den Werkstoff. Ein Verschweißen der Schwindungshohlräume durch Schmieden, Walzen oder Ziehen ist auch dann in Frage gestellt, wenn nicht nur Oxyde die Hohlraumwände belegen, sondern zu starke



Abb. 255. Ein durch Schlacken stark verunreinigter Stahlguß. Schlacken in Kettenform aneinandergereiht. Bruchaussehen locker, schwammig (s. auch Abb. 95 *b*).

Ansammlungen von metallischen und nichtmetallischen Einschlüssen den Lunker umgeben. In der Zerreißprobe zeigt sich der Lunker mit den ihn meist umgebenden Seigerungen und Schlackeneinschlüssen als weißlichgrauer Knoten oder als offene Stelle, ohne jedoch beim weichen Werkstoff die Dehnung oder Kontraktion wesentlich zu vermindern. In harten Werkstoffen dagegen gelangt ein Probestab infolge der Kerbwirkung des früher brechenden Knotens zum vorzeitigen Bruch ohne Dehnung (Abb. 254). Zumeist werden Werkstoffe mit solchen örtlich begrenzten Fehlstellen als minderwertig angesehen, was aber ohne genügende Kontrolle nicht richtig erscheint. Eine Kontrollprobe in der Faserrichtung des ersten Probestabes dürfte kaum einen Aufschluß über den fraglichen Werkstoff

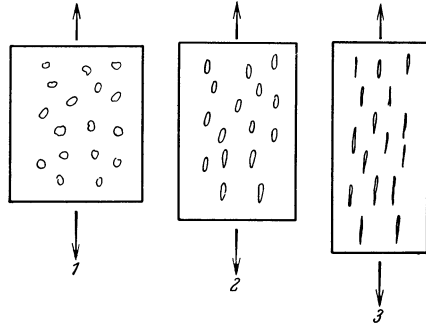


Abb. 256. Schematische Darstellung der verschiedenen Schlackenform im Stahl. Mit dem Grad ihrer Streckung erhöhen sich die Eigenschaften, längs beansprucht. Nach Abb. 257 werden die Eigenschaften bei Querbeanspruchung erheblich herabgesetzt, 1. im Gußblock, unausgestreckt, 2. gering, 3. erheblich gestreckt.

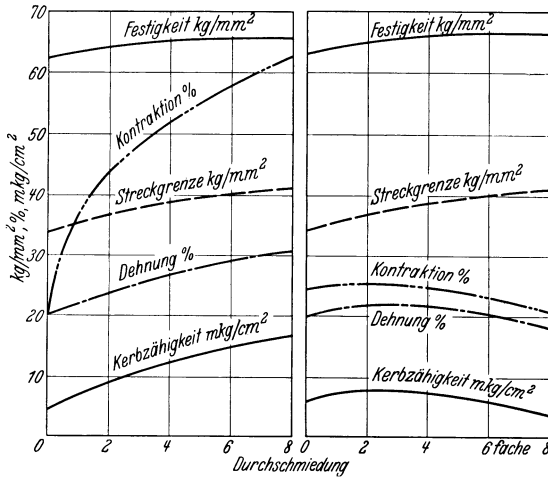


Abb. 257. Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit vom Durchschmiedungsgrad der Lunker, Blasen und vor allem Schlackenteilchen. Werkstoff: St. 60. 11.

ergeben, wenn nicht eine andere Zone oder ein anderes Stück zum Vergleich herangezogen wird.

Die am meisten auftretenden und daher am meisten gefürchteten Werkstofffehler sind die als Schlacken bekannten nichtmetallischen Einschlüsse, die sich mit dem Stahl nicht chemisch verbinden. Es sind jene spezifisch leichteren Absonderungen des flüssigen Stahles,

die in großen Mengen an seiner Oberfläche erscheinen und meist nur durch Zufall in kleinsten Teilen in die flüssige Stahlmasse zurückgelangen. Im Mikroskop erscheinen sie, soweit es sich um sulfidische Schlacke

handelt, taubengrau bis braun.

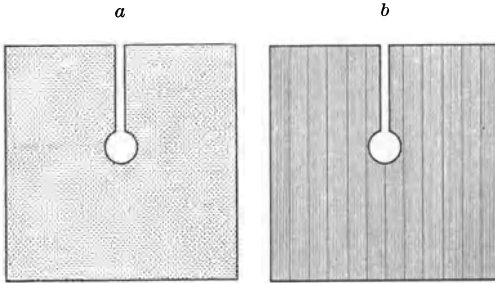


Abb. 258. Schematische Darstellung von zwei quer zur Schmiedefaser entnommenen Kerbschlagbiegeproben. Kerblage zur Faser *a* durch Punkte = Faser quer angeschnitten, *b* durch Striche = gespalten.

Mag es auch dem Stahlwerker gelingen, die

Schlackenmenge eines Werkstoffes zu vermindern: ihr Erscheinen völlig zu unterdrücken, gelingt ihm nicht. Der Verbraucher des Stahles muß mit dessen Schlacken rechnen; es ist seine Sache, sie bei der Verarbeitung möglichst unschädlich zu machen.

Im Gußblock oder im Stahlguß erscheinen die Schlackenteilchen in Ketten oder Kränzen angeordnet (Abb. 255), dann zeigen sie im Bruchgefüge eines Probestabes ein lockeres, schwammiges Aussehen

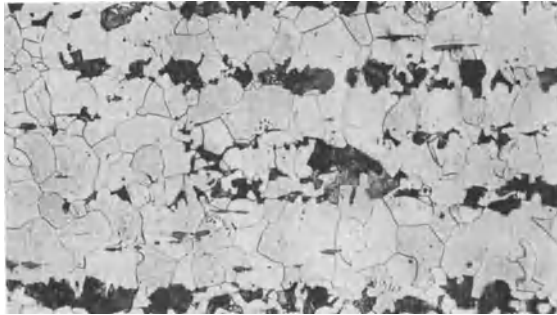


Abb. 259. Zeilenstruktur eines weicheeren Stahlbleches. Nur Schlacken geringen Ausmaßes, die impfund den Ferrit in Zeilen zwingen.

und am zerrissenen Probestab selbst viele feine Anrisse. Je nach dem schlackenhaltigen Querschnittsanteil wird der Probestab früher oder später ohne Verformung zu Bruch gehen. Die Staboberfläche wird dann entsprechend der Dehnung mehr oder weniger blank oder knitterig aussehen.

Werden die Schlackenteilchen, die warm verformbar sind, durch Bearbeitung mit dem Stahl lang gestreckt, dann wird ihre Anwesenheit bei Beanspruchungen längs zur Streckrichtung um so weniger schädlich, je länger sie ausgestreckt sind. Dies ist erklärlich, denn ein gut verschmiedetes Schweißisen (Puddeleisen), obschon diese Schlacke anderer



Natur ist, besitzt noch heute anerkannt gute Eigenschaften. Nach der schematischen Darstellung der Abb. 256—257 soll aber auch gezeigt werden, wie bei sehr starker Streckung des Stahles in der Querrichtung bei gleicher Schlackenmenge jeder Zusammenhang des Werkstoffes verloren geht. Zerreißproben gehen bei geringerer Dehnung und unwesentlicher Einschnürung frühzeitig an Stellen der stärksten Schlackenanhäufung zu Bruch (Abb. 254), und es dürfte erst recht erklärlich erscheinen, wenn solche quer zur Schlackenrichtung gelegten Kerbschlagproben bei dynamischer Beanspruchung keinen nennenswerten Widerstand leisten können. Es sei bei dieser Besprechung nicht vergessen, daß die sog. Querprobe, auf den Scheitel angeschlagen (Abb. 258 b), geringere Schlarbeit als die seitlich längs zur Faser angeschlagene Kerbschlagprobe gibt (Abb. 258 a).

Verstärkt wird die besprochene Wirkung der Schlacke auch bei geringerem Vorkommen durch ihre Anordnung in Zeilen. Da sie impfind den Ferrit in dieselbe Orientierung zwingt, entsteht die merkwürdige Zeilenstruktur, die sich bei Beanspruchungen wie die langgestreckte Schlackenzeile verhält (Abbildung 259—260).

Als Folge der obigen Besprechungen sollten ferner die bei der Erschmelzung des Stahles gelösten Gase besonders beachtet werden. Sofern sie vor der Erstarrung nicht

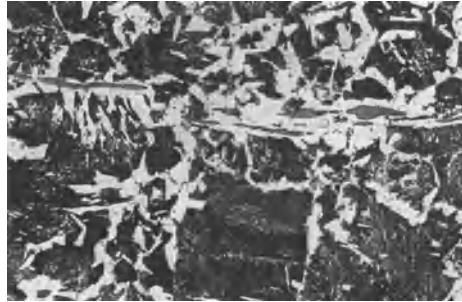


Abb. 260. Langgestreckte Martin-Stahl-Schlacken in höherem Kohlenstoffstahl, Ferritzellen bildend. Stahl selbst in Überhitzungsstruktur. Quer zur gestreckten Schlacke beansprucht, erzeugt stets Schieferbruch (Abb. 261).

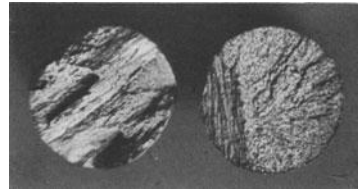


Abb. 261. Werkstoff: Vergüteter Cr-Ni-Stahl. Probestäbe quer zur Schmiedefaser entnommen. Vorzeitiger Bruch mit geringen Formänderungen des Stabes infolge starker Ansammlungen quer zur Zugachse liegender gestreckter Verunreinigungen. Der Bruch wird als Schieferbruch bezeichnet.

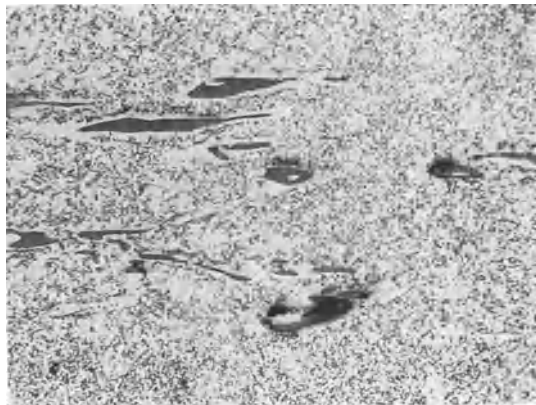


Abb. 262. Dasselbe wie Abb. 261. Eine Mikroaufnahme aus der Zone des Schieferbruches. Schlackenanhäufungen.

mehr an die Oberfläche entweichen können, bleiben sie als Gasblasen im Stahl zurück und sammeln durch den bei sinkender Temperatur entstehenden Unterdruck die bekannten Stahlschädlinge durch das



Abb. 263 zeigt 3mal vergrößert das Bruchaussehen eines stark verseigerten Probestabes aus Walzstangen.

Schieferbruch hinterlassen. Solche Proben pflegen manchmal noch den Bedingungen zu entsprechen. Ist der Schieferbruch aber mit weißlichem

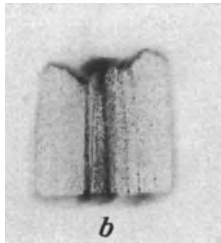


Abb. 264. (Dasselbe wie Abb. 263.) *a* ein von dieser Fläche genommener Schwefelabdruck, in dem sich die besonders hochangereicherten Zonen von Schwefel-Phosphor sehr dunkel abheben; *b* Längsschnitt am Bruch.

oder gelblich-grünem nicht-metallischem Überzug versehen, wie er an den Schieferbruchflächen legierter Stähle beobachtet wird, dann werden Dehnung und Einschnürung nicht mehr bedingungsgemäß gefunden (Abb. 261—262).

Die stärkere Durchschmiedung begünstigt die Schieferbruchbildung. Man ist daher dazu übergegangen, um eine zu starke Durchschmiedung zu umgehen, für quer beanspruchte Werkstücke entsprechend kleinere Blöcke zu wählen. Auch hier gelten die Ausführungen der Abb. 257. Eine häufige, die Eigenschaften der Stähle beeinflussende Erscheinung nach Abb. 263—268 zeigt an den Bruchflächen hellgraue Zonen, die eine andersartige Legierung darstellen als das Grundmaterial. Es sind stark konzentrierte Anreicherungen (Seigerungen) an Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor. Liegen diese als Härteknoten oder Härteadern

Seigern an. Die Gasblasen und die sie einhüllenden Gasblasenseigerungen sind bei unsilizierten weichen Flußstahlsorten eine regelmäßige Erscheinung, werden aber in den silizierten härteren Flußstählen als werkstoffschädigende Erscheinung empfunden. Da die Gasblasen ihrer Natur nach den nicht freiliegenden Lunkern ähneln, trifft auch alles von diesen Gesagte auf jene zu. Eine in der Querrichtung zu den ausgestreckten, wenn auch verschweißten Gasblasen entnommene Zug- oder Biegeprobe wird den bekannten

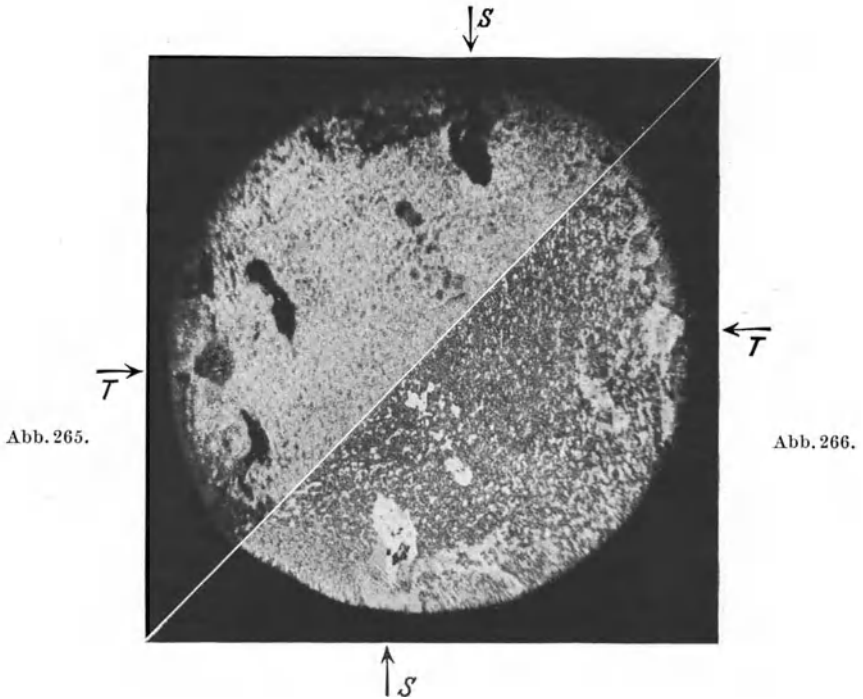


Abb. 265.

Abb. 266.

Abb. 265. Dieselbe Fläche wie in Abb. 263, 4mal vergrößert, mit Kupferammonchlorid geätzt, zeigt die geseigerten Zonen dunkel.  $\times 200$ .

Abb. 266. Dasselbe, jedoch nach Stead-Oberhoffer geätzt, zeigt dieselben Zonen hell.  $\times 200$ .

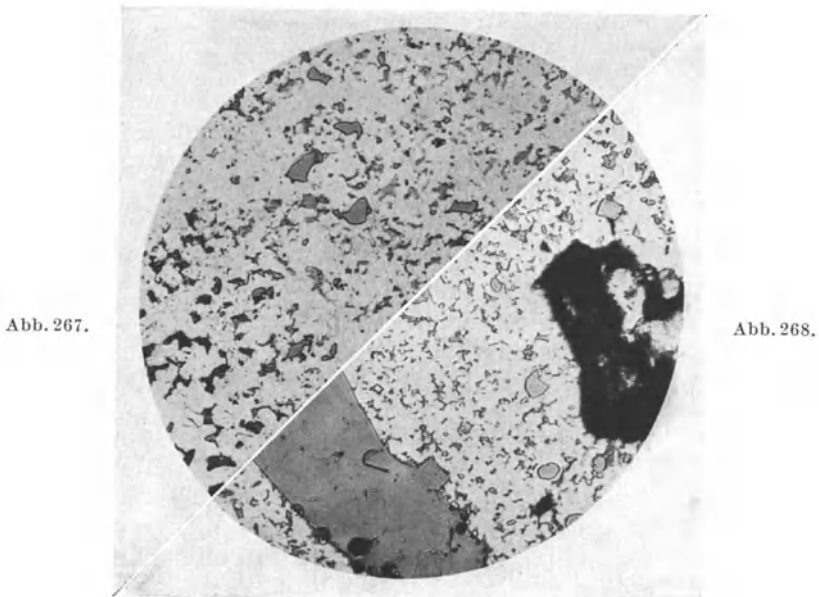


Abb. 267.

Abb. 268.

Abb. 267 zeigt einen Ausschnitt der mit  $T$  der Abb. 265/266 bezeichneten Stelle, in der reichliche Schlacken ferritimpfend eine ganz andere chemische Zusammensetzung schuf. In der Grenzzone findet sich erst wieder Perlit.  $\times 200$ .

Abb. 268. Ein Ausschnitt der Stelle  $S$ , die außergewöhnlich große Schlacken enthält. Die dunkle Stelle stellt eine ausgebrochene Schlacke dar. Stärker vergrößert.

bezeichneten Stellen an der Außenfläche eines Probestabes eines gewalzten oder sonst ausgestreckten Materials, dann bemerkt man in der Streckrichtung hintereinander liegende häkchenartige Querrisse (s. Seigerungen Abb. 97).

Ein Werkstoff kann auch durch äußere Einwirkungen fehlerhaft geworden sein, so daß Proben infolge von Überwalzungen, Schmiedefalten, Spannungsrissen oder Kugelspritzern versagen. Solche Versuche

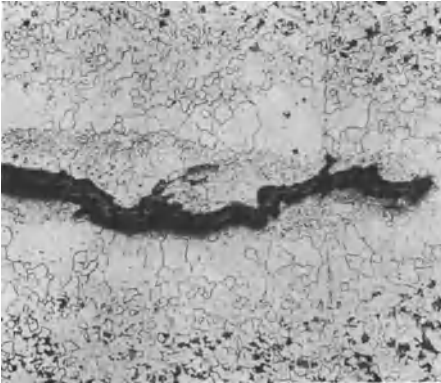


Abb. 269. Ein beim Warmschmieden entstandener Riß, an dessen Rändern starke Entkohlungen vor sich gehen, wodurch der angrenzende Werkstoff erhebliche Eigenschaftsänderungen erleidet.  
× 50.



Abb. 270. Bruch eines Zugprobestabes, der Dendriten (Tannenbaumkristalle) eines ungenügend durchgeschmiedeten Schmiedestückes zeigt. Da die Grenzflächen solcher Kristalle nur geringen Zusammenhang besitzen, sind geringe Zugfestigkeit mit unwesentlicher Kontraktion und Dehnung zu erwarten.

können nicht bewertet werden und sind nach den meisten Abnahmevorschriften als ungeschehen zu betrachten (Abb. 269). Ähnliche Erscheinungen treten bei Werkstoffteilen von ungenügender Durchschmiedung auf (Abb. 270).

Aus den Besprechungen obigen Abschnittes geht unzweideutig hervor, daß Versuchsergebnisse zweifellos unrichtig gewertet werden, wenn der an anderer Stelle stark betonten Art der Probeentnahme nicht grundsätzliche Erwägungen vorausgehen.

## 50. Prüfmaschinen für Abnahmeprüfungen.

Maschinen und Prüfeinrichtungen für Abnahmen müssen anderer Natur sein, als solche für Forschungszwecke. Zumeist wird man zwar beiden Zwecken dienende Prüfmaschinen vorziehen, dann sind allerdings die Forderungen der Abnahmepraxis zu berücksichtigen. Nun darf man wohl sagen, daß die Mehrzahl der heutigen Prüfmaschinen diesen Forderungen Rechnung trägt.

Für Abnahmезwecke ist jede Maschine als zweckentsprechend anzusehen, die größere Probemengen in möglichst kurzer Zeit zu erledigen

gestattet; denn es muß als erste Rücksichtnahme gegenüber dem Abnehmer gelten, ihn nicht unnötig bei umfangreicheren Abnahmen durch langwieriges Arbeiten einer Prüfmaschine aufzuhalten. Es kann nicht im Interesse des Erzeugers liegen, wenn die Prüfungsbeauftragten durch Maschinendefekte und andere Unvollkommenheiten von ihren sonstigen Aufgaben abgehalten werden. Leider zeigen eine große Anzahl heute noch im Betrieb befindlicher Maschinen solche Nachteile. Ganz abgesehen von der Unwirtschaftlichkeit unvollkommener Einrichtungen werden diese stets ein Passivum auf der Seite des Herstellers bedeuten, wenn es sich um unvermeidliche aber unnötige Kompromisse und Materialprüfungsverhandlungen handelt.

Es sollte wohl selbstverständlich sein, daß die Lastanzeige an jeder Prüfmaschine einwandfrei arbeitet, da sonst von vornherein nicht zu widerlegende Zweifel den Erfolg jeder Abnahmeprüfung herabsetzen.

Man kann es unmöglich wagen, wie es dem Verfasser bei Abnahmen selbst zugemutet wurde, daß die Anzeigevorrichtung in einem dem Prüfmaschinenraum benachbarten gemütlichen Zimmer arbeitet.

Jede Prüfeinrichtung ist von seiten der Eigentümer dauernd und gewissenhaft zu kontrollieren, damit nicht bei einer amtlichen Nachprüfung große Fehlerquellen entdeckt werden, die keineswegs das Lieferwerk empfehlen.

Wenn sich auch ein erheblicher Teil der Abnehmer mit einer Bescheinigung öffentlicher Institute begnügen, so fordern doch eine Anzahl Abnahmekorporationen eine eigene Nachprüfung nach besonderen Vorschriften.

Der Umfang dieses Buches gestattet es nicht, kritische Betrachtungen über die reichhaltige Auswahl von Prüfmaschinen anzustellen. Sehr eingehende Beschreibungen liefern die Bauanstalten für Prüfmaschinen. Unter anderen seien genannt: A. Amsler-Schaffhausen; Losenhausen-Düsseldorf; Mohr und Federhaff-Mannheim; Wazan-Berlin-Tempelhof. Im übrigen verweise ich auf Feststellungen von Deutsch und Fiek<sup>1</sup>, M. Moser<sup>2</sup>, Wawrzinik<sup>3</sup> und anderen.

Die Spezialfabriken haben die sog. „Universalprüfmaschine“ zu einer gewissen Vollkommenheit entwickelt, nachdem diese Maschine reichlich gefragt wurde. Sie wird zwar, da sie an Unübersichtlichkeit leidet, bekämpft, wird aber für Abnahmezwecke in den kleineren und mittleren Betrieben dauernd verwendet, da es diesen nicht möglich ist, für Biege-, Scher- und Kugeldruckversuche noch andere Maschinen zu beschaffen.

<sup>1</sup> G. Fiek: Z. V. d. I. Jg. 28 Nr. 34.

<sup>2</sup> M. Moser: Stahl u. Eisen: Jg. 48 Nr. 39.

<sup>3</sup> Wawrzinik: Handbuch-Verlag Julius Springer, Berlin.

### a) Zerreißmaschinen (50 und 100 t-Universalprfmaschinen Bauart Amsler).

Jede Anlage besteht aus der eigentlichen Prüfmaschine, dem Kraftanzeiger und der Ölpumpe zur Krafterzeugung.

**1. Die eigentliche Prüfmaschine** ist nach dem Prinzip der hydraulischen Presse gebaut. Als Druckflüssigkeit dient Öl, das durch eine Druckpumpe in den Zylinder der Zerreißmaschine gepreßt wird. Der Druckkolben der Maschine ist so genau in den Zylinder eingepaßt, daß keinerlei künstliche Liderung erforderlich ist, um übermäßigen Ölverlust zu verhindern; andererseits spielt der Kolben so leicht und reibungslos, daß sich aus dem Flüssigkeitsdruck die von der Maschine ausgeübte Kraft genau bestimmen läßt. Das äußerst kleine Spiel zwischen Kolben und Zylinderwand genügt gerade, um den Kolben zu schmieren, wodurch der Gang weich und gleichmäßig wird.

Zylinder und Kolben bilden den oberen Teil der Maschine. Der Zylinderboden ist durch Säulen fest mit dem Sockel verbunden. Der untere Einspannkopf ist gegenüber dem Sockel der Höhe nach zwischen den Säulen verstellbar. Auf dem Kolben liegt ein Querhaupt, das an zwei Säulen den oberen beweglichen Einspannkopf trägt. Wird der Kolben im Zylinder vom Druckl in die Höhe getrieben, so steigt der obere Einspannkopf mit ihm in die Höhe und beansprucht den in den beiden Einspannkpfen festgehaltenen Probestab auf Zug.

Bei den Druck- und Biegeversuchen dient der obere Einspannkopf zur Ausübung der Druck- und Biegekraft. Die Druck- und Biegeproben werden in dem Raum zwischen oberem Einspannkopf und Zylinderboden ausgeführt, wo auch Falt-, Scher-, Einbeul- und Kugeldruckhrteversuche vorgenommen werden können.

**2. Der Kraftanzeiger** ist ein Pendelmanometer, steht — neben der Zerreißmaschine angeordnet — mit der Druckpumpe durch Rohre in Verbindung und trägt die Steuerventile. Die Kraft wird an einem Zifferblatt abgelesen und auf einer Schreibtrommel aufgezeichnet, ebenso die entsprechende Formänderung des Probekörpers. Bauart und Wirkungsweise sind folgende:

Das Rohr *1* leitet die Druckflüssigkeit vom Hochdruckzylinder der Prfungsmaschine nach dem Ventilkörper *2*, von wo das Druckl durch das Rohr *3* nach dem kleinen Zylinder *4* geleitet wird.

Im Zylinderchen *4* hat der Öldruck das Bestreben, den reibungslos spielenden Kolben *5* abwärts zu drücken. Die Kraft, mit der dies geschieht, wird durch die Ablenkung des Pendels *6* gemessen. Der Kolben *5* drückt auf den Zaun, der aus den Schienen *7* und dem Querstück *8* besteht und oben an dem Hebel *9* angehängt ist. Dieser ist auf der Pendelachse *10* festgekeilt. Durch den Druck von *5* wird das Pendel *6* aus der senkrechten Gleichgewichtslage nach links abgelenkt. Die Neigung des

Pendels ist das Maß der Kraft. Diese wird auf dem Zifferblatt 11 abgelesen und gleichzeitig durch den Schreibstift 12 auf der Schreibtrommel aufgezeichnet.

Der Zeiger wird durch die Stange 14 gedreht, die auf dem Zahnrad 15 liegt und dieses dreht, wenn sie durch den Arm 16 nach rechts geschoben wird.

Die Stange 14 trägt auch den Schreibstift 12, der sich in der Längsrichtung der Schreibtrommel 13 bewegt, während diese durch den Faden 17 proportional zur Formänderung des Probekörpers gedreht wird. Nimmt der Flüssigkeitsdruck in 4 ab, z. B. beim Bruch des Probekörpers, so schließt sich das undichte Rückschlagventil 18 und bewirkt, daß das Pendel nur langsam in seine senkrechte Gleichgewichtslage zurcksinkt. Das Gewicht 19, das das Bestreben hat, das Zahnrdchen 15 rückwärts zu drehen, bewirkt, daß sich auch der Zeiger zurückdreht und das Abnehmen des Druckes anzeigt.

Ein Schleppzeiger, der vom ersten Zeiger mitgenommen wird, bleibt stehen und zeigt die Höchstkraft an.

An der Schreibtrommel wird der Faden 17 um eine der Rillen an ihrem linken Ende geschlungen und mit dem kleinen Gewicht 24 belastet. Je nachdem der Faden in der größeren oder kleineren Rille liegt, zeichnet der Schreibstift die Formänderung in einfacher oder doppelter Größe auf.

Die Pendelstange 6 kann man im Halter 25 höher oder tiefer stellen und mittels des Stiftes 26 feststellen. Dadurch läßt sich die Meßvorrichtung, entsprechend dem beim Versuch zu erwartenden Hchstwiderstand des Probekörpers, auf verschiedene Laststufen (Meßbereiche) einstellen.

In der Regel sind als Laststufen  $\frac{1}{1}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{10}$  der Höchstlast vorgesehen. Dank dieser Einrichtung hat man es in der Hand, die Empfindlichkeit des Meßgerätes der Stärke des Probekörpers anzupassen. 29 und 30 sind Steuerventile. Von der Druckpumpe oder dem Druckakkumulator gelangt das Öl durch das Rohr 31 zum Ventilkörper 32. Wird das Ventil 30 geöffnet, so fließt das Druckl durch das Rohr 33 zum Hochdruckzylinder der Prfungsmaschine.

Das Ventil 29 dient zum Entleeren des Hochdruckzylinders. ffnet man 29, so fließt die Ölfüllung von 1 durch das Rohr 34 nach dem Ölbehälter der Druckpumpe zurück.

Im Ventilkörper 32 ist ein patentierter berdruckregler angebracht, der selbsttätig dafür sorgt, daß das Druckl mit gleichbleibender Spannung in die Prfungsmaschine gelangt, so daß in gleichen Zeiten stets gleichviel Druckl zufließt, welches auch der Widerstand des Probekörpers oder der von der Pumpe erzeugte Druck sei.

Ist das Eintrittsventil 30, das als Nadelventil zum Regulieren des lzutrittes ausgebildet ist, einmal eingestellt, so bleibt die Geschwindigkeit, mit der das Öl in die Prfungsmaschine fließt,

während des ganzen Versuches unverändert, was z. B. das deutliche Erkennen der Streckgrenze bei Zerreiversuchen wesentlich erleichtert. Auch kann das Ventil leicht so eingestellt werden, daß gerade soviel Öl in die Prfungsmaschine fließt, als dort infolge von Undichtheit etwa entweicht, so daß sich der Druck in der Prfungsmaschine leicht konstant halten läßt, was bei Elastizittsmessungen durchaus notwendig ist.

Der Kolben 5 wird vom Schnurlauf 35 aus durch ein Schneckengetriebe in langsame Drehung versetzt, sodaß auch die kleinsten Reibungswiderstände zwischen Kolben 5 und Zylinder 4 verschwinden.

Die Pendelachse läuft ebenso wie das Gelenk zwischen Hebel 9 und den Schienen 7 in Kugellagern.

**3. Die Pumpe.** Zur Erzeugung des ldruckes im Zylinder der Zerreißmaschine dient eine selbständige Pumpe, die neben der Zerreißmaschine auf dem Fußboden steht.

Drei einfachwirkende, horizontal nebeneinander liegende Tauchkolben werden von einer Welle angetrieben, deren Kurbeln um 120° gegeneinander versetzt sind. Alle drehenden Teile laufen in Kugellagern, die gleitenden Teile laufen im Öl. Es hat dies zur Folge, daß der Nutzeffekt der Pumpe sehr hoch ist, fast gar keine Wartung nötig ist und keine Abnützung stattfindet.

Die Ventile bestehen aus harten Stahlkugeln. Sie können leicht herausgenommen werden, wenn infolge von Unreinigkeiten im Öl eine Störung eintreten sollte.

Eine vertikale Welle wirkt auf die Saugventile. Dreht man die Welle an einem Handgriff, der in bequemer Höhe liegt, um eine Viertelumdrehung, so werden die Saugventile augenblicklich abgehoben bzw. freigelassen. Man kann also die Pumpe jederzeit augenblicklich leer laufen lassen, oder ihren Antrieb abstellen. Umgekehrt kann man den Elektromotor der Pumpe leer laufen lassen und dann erst die Pumpe in Betrieb setzen.

Der Ölbehälter ist auf dem Pumpenkörper angeordnet. Seine Größe ist so bemessen, daß er zur Speisung der Prfungsmaschine reichlich genügt. Das zurückfließende Öl tritt oben in den Behälter, wo es einen Filter zu passieren hat, in dem allfällige Unreinigkeiten zurückbehalten werden.

Die Dreikolbenpumpe in Verbindung mit dem Druckregler gibt das Öl vollständig stoßfrei an die Prfungsmaschine ab, was für die Durchführung von Przisionsversuchen, hauptsächlich bei der Bestimmung des Elastizitätsmodulus, unerläßlich ist.

Der Elektromotor ist am Pumpengestell befestigt. Die Pumpe läuft fast ganz geräuschlos.

Auf der Pumpenwelle ist ein Schnurlauf angebracht, der eine Lederseile antreibt zum selbsttätigen Drehen des Mekolbens des Pendelmanometers.



Die Pumpe erzeugt Drücke bis 300 at und liefert etwa 4 Minutenliter Öl.

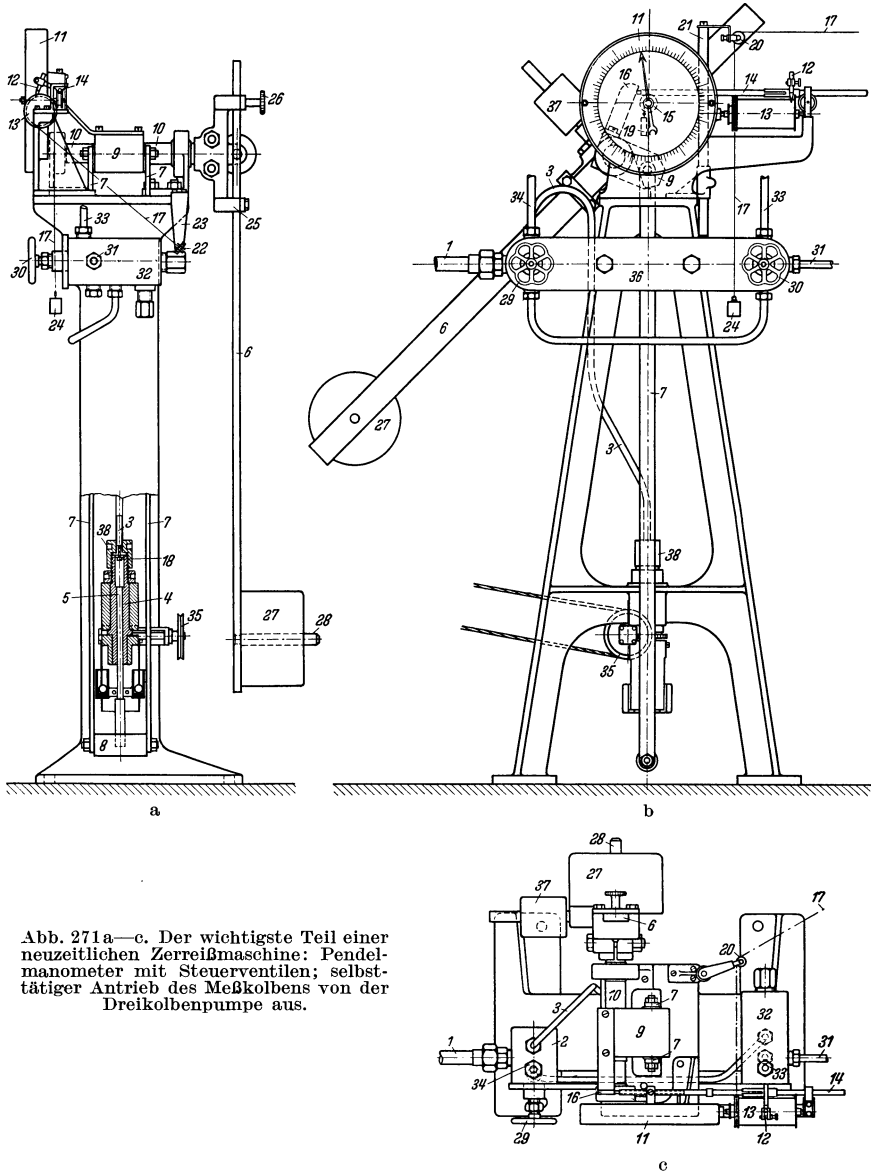


Abb. 271a—c. Der wichtigste Teil einer neuzeitlichen Zerreißmaschine: Pendel­manometer mit Steuerventilen; selbst­tätiger Antrieb des Mekolbens von der Dreikolbenpumpe aus.

Einen anderen Typ stellt die Universalprüfmaschine Bauart „Mohr & Federhaff“ dar, die mit elektrischem Antrieb und der Neigungswaage ausgeführt wird. Die Last wird durch den Prüfstab auf ein Hebel-

system und weiter auf das von der Maschine getrennt stehende Pendel übertragen. Der Ausschlag des Pendels gibt die verbrauchte Kraft an. Das Pendel wirkt mittels einer Zahnstange und einem Zahnrad auf die Lastanzeigevorrichtung. Die Maschine gestattet verschiedene Höchstlasteinstellungen, so daß es möglich ist, kleinere und größere Kräfte mit einiger Genauigkeit abzulesen. Die Prüfungsgeschwindigkeit kann durch den elektrischen Antrieb geregelt werden.

Diese Maschine wird auch mit einer Druckflüssigkeitsregelung ausgestattet, um deren Vorzüge auszunützen (Abb. 271 a—c).

### **b) Eichung bzw. Kontrolle von Festigkeitsmaschinen.**

Zumeist wird die Kontrolle und Eichung einer Maschine, besonders der Zerreißmaschine, von Behörden oder Abnahme-gesellschaften vorgenommen. Im allgemeinen wird die Kontrolle durch das Staatliche Materialprüfungsamt, Berlin - Dahlem und durch sämtliche technischen Hochschulen von fast allen Abnehmern anerkannt. Diese Kontrollstellen pflegen in der Regel Zeugnisse auszustellen, die in jeder Materialprüfung ausliegen sollten. Diese Kontrollen werden von den obengenannten Stellen mit Hilfe eines Kontrollstabes und der Spiegelapparatur ausgeführt. Hier und da, wenn die Maschinen dazu eingerichtet sind, werden auch rohere Prüfungen mit Hilfe von Gewichten ausgeführt. Sehr gute Resultate liefert auch die Nachprüfung mit Hilfe mancher Meßdosen.

### **c) Meßdose zur Kontrolle von Festigkeitsmaschinen.**

Die Amsler-Meßdose ist ein verhältnismäßig leichtes, handliches Instrument, mit dem auf einfachste Weise und mit großer Genauigkeit die Richtigkeit der Kraftanzeige, von Druckprüfungs-maschinen oder von Zerreißmaschinen kontrolliert werden kann, indem sie wie ein Probekörper in den Maschinen eingesetzt und beansprucht wird; an einer Teilung wird die auf die Meßdose ausgeübte Kraft abgelesen (Abb. 272).

Diese Meßdose kann sowohl in stehenden als auch in liegenden Prüfungs-maschinen verwendet werden. Sie wird als Zugmeßdose oder als Druckmeßdose hergestellt; letztere kann außer für Zug- auch für Druckproben ausgerüstet und gebraucht werden.

Die Meßdose ist ein allseitig geschlossener Hohlzylinder 1 aus Stahl, der mit Quecksilber gefüllt ist. An einem Ende ist an den Hohlraum ein Glasröhrchen 2 angeschlossen, das in eine Hohlkugel 6 endigt, ferner ein Stutzen 8 mit einer Tauchschraube 4, mit welcher man den Quecksilberfaden im Glasröhrchen durch passende Verdrängung des Quecksilbers im Hohlraum 1 auf eine bestimmte Marke 3 einstellen kann. Wird der Hohlzylinder in der Längsrichtung zusammengedrückt, so verkürzt er sich und sein Rauminhalt vermindert sich. Dabei wird eine der Inhalts-

verminderung gleiche Menge Quecksilber in das Glasröhrchen 2 hinein-  
getrieben. Die Menge des Quecksilbers ist das Maß der Verkürzung  
des Hohlzylinders und damit das Maß der auf diesen ausgeübten  
Druckkraft. Die Menge des Quecksilbers wird mittels der Tauch-  
schraube 4 gemessen, die zu diesem Zweck als Mikrometerschraube  
ausgebildet ist. Vor Beginn des Versuches stellt man sie so ein,  
daß der Quecksilberfaden auf der Marke 3 im Glasröhrchen steht  
und liest die Teilung an der Mikrometerschraube ab. Steht nachher

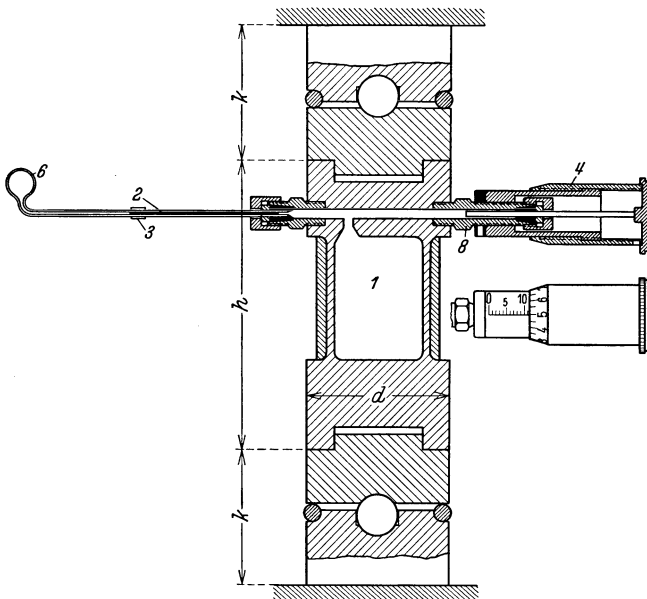


Abb. 272. Meßdose zur Kontrolle von Prüfmaschinen auf Zug und Druck.

der Hohlzylinder unter Druck, wobei das Quecksilber aus diesem  
herausgetrieben wird, so schraubt man die Mikrometerschraube zu-  
rück, bis der Quecksilberfaden wieder auf Marke 3 einspielt und  
liest alsdann die Teilung an der Mikrometerschraube 4 wieder ab.  
Der Unterschied zwischen beiden Ablesungen entspricht der Raum-  
verminderung des Hohlzylinders bzw. dem auf diesen ausgeübten  
Druck. Die Teilung auf dem feststehenden Stützen 8 zeigt die ganzen  
Umdrehungen der Mikrometerschraube auf einer Teilung an. Am Rand  
der drehbaren Hülse 4 werden die Hundertstel einer Umdrehung abgelesen.  
Die Entfernung der Teilstriche beträgt etwa 1 mm. Der Stützen 8 läßt  
sich drehen und feststellen, so daß der Beobachter die Teilung und den  
Ablesestrich in bequemer sichtbarer Lage bringen kann. Auf der Meßdose  
sind die Ablesungen des Instrumentes eingraviert, die bestimmten

Beanspruchungen auf Zug oder auf Druck entsprechen. Die Meßdosen werden in der Fabrik durch direkte Gewichtsbelastung geeicht.

Der Hohlzylinder, der nur innerhalb der Elastizitätsgrenze seines Stahlmantels beansprucht werden darf, verkürzt sich fast vollkommen proportional zum Druck, der auf seine Endflächen ausgeübt wird; es ist also auch die Inhaltsverminderung und infolgedessen die Drehung der Mikrometerschraube praktisch proportional zum Druck.

Wird der Hohlzylinder auf Zug beansprucht, so findet der Vorgang im umgekehrten Sinne statt: der Zylindermantel streckt sich, der Inhalt des Hohlraumes wird größer, und man muß also die Mikrometerschraube einwärts schrauben, um den Quecksilberfaden auf den Anfangsstand zurückzubringen. Damit bleibende Veränderungen vermieden werden, ist der Zylindermantel aus hochwertigem Stahl hergestellt. Zum Schutz gegen rasche Wärmeänderungen ist er mit einem schlechten Wärmeleiter umhüllt.

Beispiel: Eichung einer 50 t-Prüfmaschine mittels einer 50 t-Meßdose.

Belastung, Tonnen. . . . .	5	10	20	30	40	50
Unterschied zwischen Anfangs- u. Endablesung . . . . .	1,050	2,090	4,210	6,337	8,475	10,675
Eichwerte der Meßdose . . . . .	1,04	2,09	4,21	6,36	8,52	10,70
Fehler der Maschine in Prozent. +	1	0	0	— 0,36	— 0,53	— 0,23

## 51. Einspannungen.

Die heutigen Zugfestigkeitsprüfmaschinen sind mit gut durchdachten Einspannvorrichtungen versehen, die bei Massenprüfungen einen erheblichen Zeitgewinn erzielen lassen. Dies ist für den Materialprüfungs-

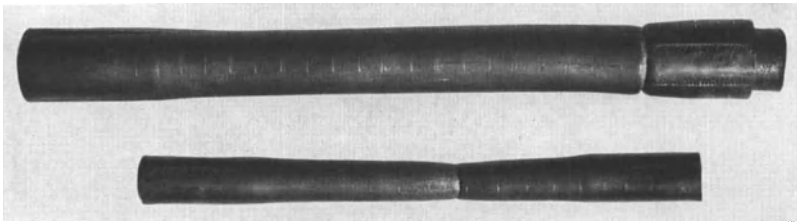


Abb. 273. Kupferrohr, das durch Einstecken von nicht abgerundeten Stahlbolzen vorbereitet wurde, zerreißt an der Einspannung (oben), Fehlprobe. — Probe mit gut abgerundeten Einsteckbolzen (unten), richtig, daher Bruch in Probenmitte.

betrieb bedeutsam; denn der vielbeschäftigte Abnehmer wird für ein langwieriges Prüfverfahren keine Sympathie haben.

Von einem guten Einspannkopf wird verlangt, daß er den Probestab genau zentrisch belastet. Exzentrisch beanspruchte Probestäbe werden noch besonderen Biegungsbeanspruchungen unterliegen, so daß insbesondere an spröden Werkstoffen ganz außergewöhnliche Schwankungen

der Prüfergebnisse auftreten können. Feinmeßversuche lassen sich mit Hilfe solcher Einspannvorrichtungen nicht vornehmen und Streckgrenzen werden dann stark verändert oder überhaupt nicht beobachtet. Prüfungen, ja ganze Abnahmen werden gefährdet, wenn diese Einrichtungen oder sorgfältige Vorbereitungen unvollkommen sind (Abb. 273).

In den Abb. 274—278 sind eine Anzahl Einspannköpfe der Firma Mohr & Federhaff dargestellt. Werden Probestäbe mit Schultern gewählt, dann ist darauf zu achten, daß die Schultern gleiche Höhe haben; sind es dagegen glatte Stabenden ohne Kopf, die mit Beißkeilen festgehalten werden, dann müssen die Keile gut aufgeraut werden. Bemerkenswert sind die Schnellspannköpfe, bei denen durch zweckmäßig angeordnete Hebel am Spannkopf das Festziehen und Lösen der Keile erheblich erleichtert wird.

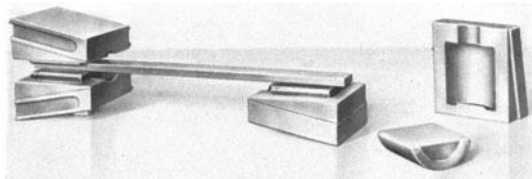


Abb. 274. Einspannbacken für Flachstäbe.

Als Beispiele für Einspannvorrichtungen, die den gestellten Anforderungen nachkommen, werden die folgenden gebracht.

Zum Einspannen von Flachstäben dienen gemäß Abb. 274 Keile mit eingelegten halb-

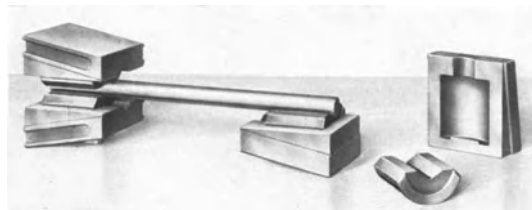


Abb. 275. Einspannbacken für Rundstäbe.

runden Backen, die auf der ebenen Fläche gezahnt sind und sich mit der halbrunden Fläche in den Keilen drehen können, so daß sie sich dem Probestab anschmiegen, wenn auch seine Flächen nicht ganz parallel sind. Die Backen für Rundstäbe haben gezahnte Rinnen.

Die Einspannkeile werden mittels eines Hebels, der sie gleichzeitig hebt, geöffnet bzw. geschlossen. Diese Einrichtung veranschaulicht die Abb. 275. Auf diese Weise wird ein schnelles Einspannen gewährleistet (Abb. 276).

Zur Befestigung von Rundstäben mit Köpfen (Normalstäben) dienen kugelig gelagerte Ringe und zweiteilige Schalen, welche die Köpfe stützen. Die Probestäbe werden außerhalb der Maschine in die Schalen und Büchsen eingebaut und dann mit diesen in die vorn offenen Halter geschoben.

Ketten befestigt man in der Zerreißmaschine, indem man durch jedes Endglied ein U-förmig gebogenes Stück Rundeisen steckt und dieses in den Einspannbacken für Flachstäbe fat, gemäß der Abb. 277.

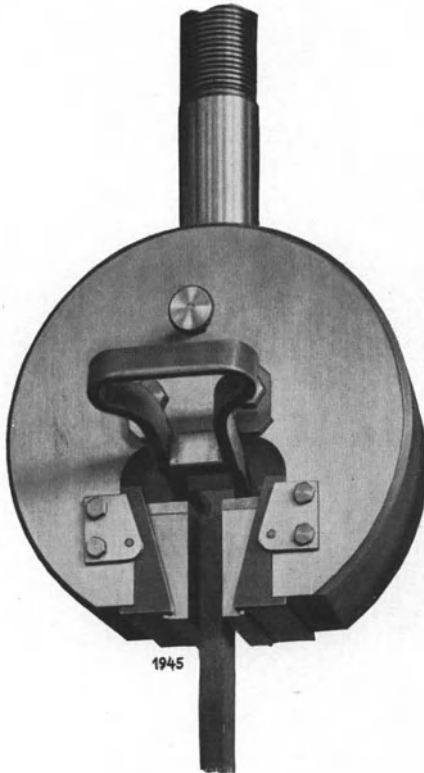


Abb. 276. Einspannung kurzer Zugstäbe mit Hebel für Schnellspannung (Mohr & Federhaff, Mannheim).

Der Probestab wird gegen zwei Widerlager gelegt, die eine Spalte bilden. Ein Hammer, ein Gewicht am Ende eines Pendels, schlagt mit seiner Finne beim Herabfallen den Probestab zwischen den Widerlagern entzwei. Ein Teil seiner lebendigen Kraft wird dabei zur Zertrümmerung des Probestabes verbraucht, der Rest treibt den Hammer jenseits seiner Vertikallage in die Höhe, bis alle lebendige Kraft aufgebraucht ist. Dabei hebt das Pendel einen Zeiger vor einer Skala. Dieser bleibt bei der höchsten Lage des Hammers stehen und zeigt direkt die zur Zertrümmerung des Probestabes aufgewendete Energie an (nicht die überschüssige Energie des Hammers).

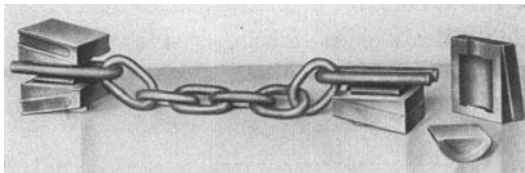


Abb. 277. Einspannung von Ketten.

### Zugversuche an Seilen.

Beistehenden Maschinen lassen sich nur kurze Seilstcke prüfen, die Einspannvorrichtungen sind besonders auszubilden (Abb. 278).

### Pendelhmmer für Kerbschlagbiegeversuche.

Eine selbsttätige Bremse, bestehend aus einem Seil, das einerseits am Hammer befestigt ist, andererseits unter der Wirkung eines Gewichtes um einen Zapfen gleiten kann, verhindert den Hammer am Zurückfallen, ohne ihn aber in seinem Weg zur Endlage irgendwie zu behindern.

Den Hammer am Zurückfallen, ohne ihn aber in seinem Weg zur Endlage irgendwie zu behindern.

Vor dem Versuch wird der Hammer von Hand gehoben und an einen Haken angehängt, der an einem Ausleger befestigt ist; diesen löst man mittels eines Hebels aus, wenn der Hammer herabfallen soll. Der Ausleger kann von vornherein in beliebiger Höhe festgestellt werden.

Die Widerlager, auf denen der Probestab liegt, sind ebene Stahlplatten mit abgerundeter Kante. Sie können so eingestellt werden, daß die Spaltweite 4 bis 16 cm beträgt. Die Dicke des Hammers an der Finne beträgt 1,6 cm.

Die Finne des Hammers liegt im Trägheitsmittelpunkt des Pendels, was zur Folge hat, daß beim Aufschlagen des Hammers sozusagen keine Erschütterungen des Pendels auftreten und keine Schlagarbeit im Pendel verloren geht.

Für die Schlagzugversuche wird der Hammer um  $180^\circ$  gedreht, was sich leicht bewerkstelligen läßt (Abbildung 279). Hammer Bauart Amsler.

Mit dem Pendelhammer lassen sich auch Izodversuche ausführen. Dazu wird ein besonderer Hammer verwendet, der leicht ausgewechselt werden kann. Das Probestück wird in der Einspannvorrichtung liegend festgeklemmt, in der Weise, daß der Grund der Kerbe in die Höhe der Kante zu liegen kommt, um die der Stab gebogen wird. Eine im Hammer angebrachte, gehärtete Stahlschneide schlägt das Probestück im Abstand von 22 mm von der Kerbe (s. Abb. 280). Bauart Amsler.

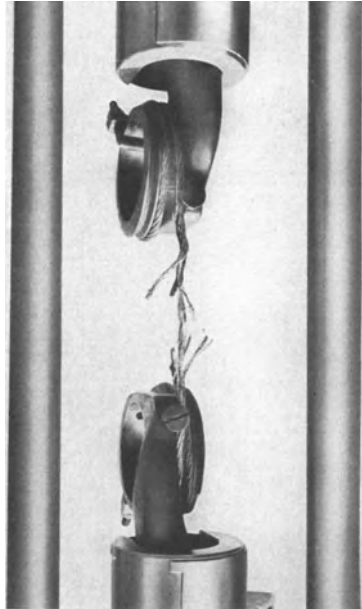


Abb. 278. Einspannung kurzer Drahtseilenden über Rollen gelagert.

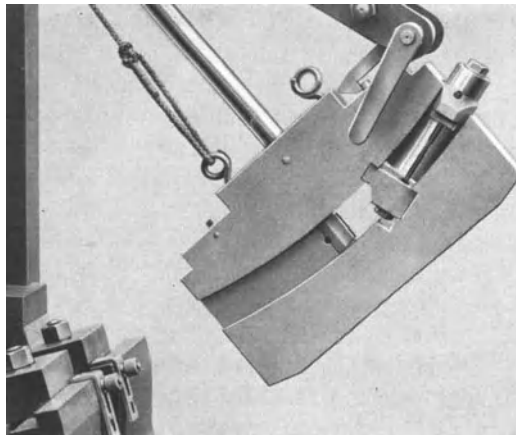


Abb. 279. Pendelhammer für Schlagzugversuch.

Das Probestück wird im Abstand von 22 mm von der Kerbe (s. Abb. 280). Bauart Amsler.

Daneben bauen Mohr & Federhaff und Losenhausen auch neuere Typen, die den Ansprüchen, die man an ein Pendelschlagwerk stellt, vollauf genügen.

## 52. Die Werkstoffvorschriften.

Die Feststellung des verschiedenen Verhaltens der Stähle bei Beanspruchungen führte allmählich zur Schaffung von Werkstoffvorschriften. Sie sind keineswegs Ausdruck der Wünsche des Abnehmers, noch

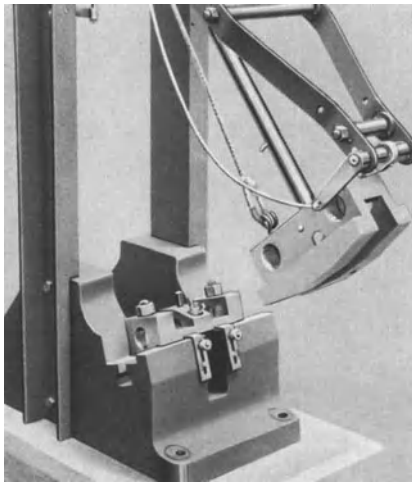


Abb. 280. Pendelhammer für Izodversuche.

sind ihre Festlegungen eine einseitige Maßnahme der Verbraucher, sondern sie entsprechen der einheitlichen Meinung der Verbraucher, Hersteller und der Wissenschaft. Tatsache ist, daß der Einführung der meisten Abnahmevorschriften gründliche Überlegungen und gemeinsame Besprechungen der beteiligten Parteien vorausgingen. Auch die nicht selten bekämpften neuen Verschärfungen vieler Vorschriften sind nicht auf die Willkür der Verbraucher zurückzuführen, sondern zumeist auf Anregung der Hersteller im Kampf um die Verbesserung der Konstruktion und des Werkstoffes entstanden.

Wer die Werkstoffabnahme als Schlüssel zur Sicherheit von technischen Anlagen und als Voraussetzung der erforderlichen Betriebssicherheit hochbeanspruchter Werkstücke ansieht, wird widerspruchslos zugeben, daß alles Erdenkliche getan werden muß, Zweifel über die Haltbarkeit eines Baustoffes zu beseitigen. Häufig sind die übermäßigen Anforderungen an den Werkstoff gar nicht mehr zu umgehen, soll das Bedürfnis nach Konstruktionen höherer Leistung bei gleichen oder ähnlichen Abmessungen befriedigt und der Konstrukteur nicht zur Ohnmacht bei seinen Neuschöpfungen verurteilt werden.

Die Notwendigkeit zu handeln, mag eine wichtige, zum Ziele führende Erziehung sein, so daß bei hohen Forderungen an die Eigenschaften von Werkstoffen die erzeugende Industrie zwangsläufig zur Herstellung besonderer Qualitäten gezwungen ist, aber die Materie setzt sich selbst eine Schranke. Schließlich wird jede weitere Werkstoffverbesserung, jede Erzeugung von Sondereigenschaften die Produktionskosten erhöhen, deren wirtschaftliche Berechtigung eine neue unbeantwortete Frage



darstellt. Umgekehrt kommt es vielfach vor, daß die Verbesserung der Werkstoffqualität den Vorschriften vorausseilt. Dann müssen diese erst den neuen Errungenschaften angepaßt werden.

Werden Abnahmevorschriften durch gefühlsmäßige Erwägungen Einzelner gewonnen, wie dies bei einigen ausländischen zu vermuten ist, dann werden sie nicht nur als einseitig befunden, sondern laufen auch den Werkstoffeigenschaften häufig zuwider. Hier wäre es Aufgabe der erzeugenden Industrie, werkstoffwidrige Abnahmevorschriften richtigzustellen; denn schließlich kommt es dem Dauerabnehmer nicht auf gelegentliche einzelne Spitzenleistungen in der Industrie an, als vielmehr auf eine zuverlässige Qualität der Erzeugnisse, also auf dauernde Gleichmäßigkeit der Eigenschaften.

Fast alle Abnahme- und Werkstoffvorschriften werden als „vorläufige“ bezeichnet. Damit wird mit genügender Deutlichkeit ausgedrückt, daß ihre Entwicklung dauernd im Fluß ist und die Grundlage zur Festlegung festumrissener Vorschriften noch fehlen. Die Frage jedoch, ob und wann diese notwendigen Grundlagen endgültig vorliegen, dürfte nicht zu beantworten sein. Andererseits zeugt es von aner kennenswerter Rührigkeit der Abnahmekorporationen, wenn sie auf Grund der neueren wissenschaftlichen Erkenntnis ihre Vorschriften jeweilig einer Durchsicht unterziehen. Aufgabe der Hersteller ist es, ihre Werkstatt und Konstruktion nicht nur mit den Ergebnissen der neuesten Forschung, sondern auch damit bekannt zu machen, wieweit diese in den Abnahmevorschriften Aufnahme gefunden haben.

Mag es schwer sein, alle die Werkstoffabnahme betreffenden Faktoren auf einige Generalnenner zu bringen, so sollten doch nur eindeutige Abnahmeanweisungen in den Vorschriften Platz finden. Der ängstliche Hersteller, der mit dem Abnahmewesen nicht genug vertraut ist, wird sich mit allgemeinen Redewendungen nicht abfinden können und der Abnehmer selbst wird in unklaren Vorschriften kaum eine Stütze für seinen verantwortungsvollen Beruf finden. Zumeist dürfte es genügen, grundsätzliche Forderungen in ein anderes Gewand zu kleiden, um sie begreiflich und annehmbar erscheinen zu lassen.

Wenn man von einzelnen Abnahmen absieht und das Ganze überblickt, so stehen freilich die reichsdeutschen Abnahmevorschriften in ihren Anforderungen obenan. Sie haben wie die amerikanischen A.S.T.M.-Vorschriften bis zu ihrer jetzigen Form einen langen Weg zurückgelegt. Das Rückgrat aller deutschen Vorschriften jedoch bilden seit einem Jahrzehnt die Deutschen Industrie-Normen (DIN). Zur Zeit wird ein erheblicher Teil der Werkstoffe nach diesen Gesichtspunkten abgenommen. Allerdings war es trotz aller Bemühungen nicht möglich, alle Werkstoffvorschriften auf der DIN-Basis zusammenzufassen; denn man darf nicht übersehen, daß das Streben nach Verfeinerung der Erzeugnisse höherer Leistung und das Streben nach Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu

Werkstoffqualitäten führt, die sich in den Rahmen der DIN nicht mehr aufnehmen lassen. Den DIN einen weiteren Geltungsbereich zu verschaffen, stößt schon deshalb bis auf weiteres auf Schwierigkeiten, weil Eisenbahn-, Schiff-, Turbinen- und Motorenbau eigene Maßstäbe an den zu verwendenden Werkstoff legen. Da ein wesentlicher Teil der deutschen Industrieerzeugnisse außerdem nach dem Auslande verkauft wird, sollte man sich mit den wichtigsten internationalen Abnahmevorschriften vertraut machen.

Es würde erheblich über den Umfang dieses Buches hinausgehen, wollte man die Abnahme- und Werkstoffvorschriften auch nur auszugsweise wiedergeben. Den am Schluß des Buches beigefügten 9 Orientierungstafeln über Werkschaffsvorschriften fällt die Aufgabe zu, dem Konstrukteur einen für ihn ausreichenden Überblick über Abnahmebedingungen sämtlicher Werkstoffe zu bieten und ihm die für seine Berechnungen notwendigen Grundlagen vergleichend an die Hand zu geben. Dem Werkstattingenieur sollen sie die Wahl des richtigen Werkstoffes erleichtern. Ausländische Abnahmevorschriften, die auf andere Maße und Gewichte aufgebaut sind, wurden auf die Normalmaße und -gewichte umgerechnet. Die jeweilige Meßlänge mußte aus praktischen Gründen beibehalten werden. Um sich aber über die ausländischen Dehnungsgrößen an bekannten Meßlängen unterrichten zu können, sei auf die Umrechnungstafel (Abb. 44) verwiesen.

Die Namen der Werkstoffvorschriften sind in alphabetischer Reihenfolge angeordnet. Hinzugefügt sind jedesmal noch diejenigen Vorschriften, denen sie gleich oder im wesentlichen gleich sind.

Am Rande im weißen Felde ist die vorgeschriebene Meßlänge angegeben. Mit Hilfe der Umrechnungstabelle (Abb. 44) ist jede Dehnungsvorschrift auf eine bekannte umzurechnen und zu vergleichen. Für Grauguß tritt an Stelle der Dehnung die Durchbiegung und im weißen Feld über die Festigkeit hinaus die Biegefestigkeit. In der bildlichen Darstellung ist zunächst die Mindestdehnung als dunkles Feld eingezeichnet. Die Mindest- und Höchstdehnung, die in der Regel beide einer bestimmten Zugfestigkeit entsprechen, sind durch einen den vorgeschriebenen Zahlenwerten entsprechenden schrägen Abschlußstrich dargestellt. Bei der Zugfestigkeit, längs schraffiert, ist das Minimum und Maximum durch einen entsprechenden schrägen Abschlußstrich gekennzeichnet. Ist kein Maximum vorgesehen, dann wird das Minimum mit einem Querabschlußstrich und weißem Dach versehen. Die Streckgrenze als Funktion der Festigkeit ist kreuzschraffiert in das Feld der Zugfestigkeit als Mindestgrenze eingezeichnet. Die Vorschriften über die verschiedenartigen technologischen Versuche sind dem Umfange der Tafeln entsprechend nur andeutungsweise angegeben. Zum Vergleich der Werkstoffeigenschaften aus den verschiedenen Vorschriften sollten daher nur Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung herangezogen werden.

# Sachverzeichnis.

Abnahme 2.  
Abkühlungsgeschwindigkeit 166, 169.  
Ablesemechanismus 33.  
Abnützungswiderstand 133.  
Abschreckbiegeprobe 90.  
Abschreckstauchprobe 92.  
Abschrecktemperatur 169, 176.  
Alterungsbeständigkeit 138.  
Alterungsneigung 139.  
Alterungsversuche 137.  
Ammoniakprobe (Dichtheit) 105.  
Aufornprobe 97.  
Auftragschweißung 125.  
Aufweitprobe 97.  
Ausbreitprobe 97, 146.  
Auswahl (der Proben) 5.

Belastungsgeschwindigkeit 51.  
Betriebstemperatur 48.  
Biegefähigkeit 82.  
Biegefestigkeit 136.  
Biegegröße 79.  
Biegeversuche 79.  
Biegeversuche (abgeänderte) 85.  
Biegevorrichtung 63, 123.  
Biegewinkel 79.  
Biegungsbeanspruchungen 83, 91.  
Blankglühen 156.  
Blaubruch 90, 147.  
Bördelprobe 100.  
Brinellhärte 55.  
Brinellmeter 62.  
Bruchaussehen 45, 70.  
Bruchprobe (Ketten) 128.

Charakteristiken 46, 51.  
Charpyprobe 67.

Dauerschwingungsfestigkeit 77.  
Dauerstandfestigkeit 53.  
Dauerversuche 75.  
Dauerwechselschlagversuch 78.  
Dehnung 37.  
Dehnungsmesser (Amsler) 32.  
Dehnungsmessung 37.  
Dehnungswertumrechnung 41.

Dendriten 190.  
Dichtheitsprobe 104.  
Differentialhärteprüfung 62.  
Doppelfaltprobe 89.  
Druckprobe 103.  
Durchschmiedungsgrad 185.  
  
Eichung (von Prüfmaschinen) 196.  
Eigenschaftsänderung (durch Glühen) 160.  
Eigenschaftsänderung (durch Vergüten) 174.  
Einsatzhärte (Gleichmäßigkeit) 110.  
Einsatzhärteprüfung 106.  
Einsatztiefe 111.  
Einschnürung 42.  
Einspannvorrichtungen 198.  
Elastizität 37.  
Elastizitätsgrenzen 16.  
Entkohlung 190.  
Ergänzungsprüfung 60, 70.  
Ermüdung (der Werkstoffe) 75.

Fallgeschwindigkeit 91.  
Fallhammer 91.  
Fallprobe 102.  
Fallversuch 102.  
Federprüfung 130.  
Feilprobe 148.  
Feinmeßgeräte 24, 31, 32, 33.  
Festigkeit 15, 48.  
Festigkeitskennzeichen 45, 148.  
Fließerscheinungen 17, 19, 45.  
Fließgrenze 17.  
Formänderungsvermögen 37, 42.  
Formgebungsarbeit 149.  
Fryschen (Figuren) 143.

Gefügebau (und Eigenschaften) 162, 163, 167, 176.  
Gewindebiegeprobe 86.  
Glühdauer 168.  
Glühgrenzen 160.  
Glühwirkungen (auf Werkstoffeigenschaften) 160, 168, 171.  
Großzahlforschung 106.  
Gußbiegeprobe 136.

- Gußeisenprüfung 132.  
 Gußscherprobe 137.  
 Güteziffer 44.
- Härteprüfung** 53.  
 Härteprüfung (Vergleich) 64.  
 Hartmannsche Linien 143.  
 Härtungsbiegeprobe 90.  
 Härtezahl 55.  
 Häufigkeit (als Prüfung) 106.  
 Hin- und Herbiegeprobe 86.  
 Hörndelprobe 97.
- Interpolieren** 37.
- Kalottenbegrenzungen** 58, 60.  
 Kaltbrüchigkeit 181.  
 Kaltverarbeitung 156.  
 Kerbeanspruchung 37, 47, 65.  
 Kerbiegeprobe 85.  
 Kerbschlagarbeit (Beeinflussungen) 72.  
 Kerbschlagbiegeversuch 65.  
 Kerbzähigkeit 65.  
 Kerbwirkungen 38, 81, 82.  
 Kernfestigkeit 111.  
 Kesselblechsorten (Eigenschaften) 50.  
 Kettenprüfung 128.  
 Klangprobe 103.  
 Kontraktion 42.  
 Kontraktionshindernis 42, 47, 169.  
 Kontrollversuche 40.  
 Kopfschlagprobe 90.  
 Körner 37.  
 Korrosion (Prüfung) 113.  
 Korrosionskurzzeitversuch 117.  
 Korrosionslangzeitversuch 117.  
 Korrosionsmittel 113.  
 Korrosionsprobe 116.  
 Korrosionswiderstand 114.  
 Kriechversuche 53.  
 Kugeldruckhärte (Abhängigkeit) 57.  
 Kugeldruckhilfsgeräte 62.  
 Kugeldruckversuche 55.  
 Kurzstab 13.
- Langstab** 13.  
 Legierungszusätze (und Eigenschaften)  
 51, 84.  
 Lichtbogenschweißung 118.  
 Lochprobe 96.  
 Luftdruckprobe (unter Wasser) 104.
- Martens-Kennedy** 31.  
 Martensit 179.
- Massenprüfungen 62.  
 Meßdose 196.  
 Meßlänge 40.  
 Meßpunkte 48.  
 Metallüberzüge (Prüfung) 151.
- Neukristallisation** 162.  
 Nitrierungshärte 112.  
 Normalisierung 160, 171.  
 Normalstab 12, 67.  
 Normihammer 62.
- Oberflächenänderung** 16, 171.  
 Oberflächenhärtung 106.  
 Ödichtheitsprobe 105.
- Pendelhammer** 201.  
 Pendelmanometer 192.  
 Perlit (Eigenschaften) 161, 167.  
 Plastizität 37.  
 Poldihammer 62.  
 Polterprobe 100.  
 Potentialunterschiede 113.  
 Preßflächenreibung 93.  
 Preßschweißung 118, 150.  
 Probeabmessung 12.  
 Probeauswahl 5.  
 Probeentnahme 4, 116.  
 Probeherstellung 11.  
 Probenform (Gußeisen) 135.  
 Probenlage 7.  
 Probenvorbereitung 5.  
 Probestempelung 6.  
 Proportionalitätsgrenze 16.  
 Prüfbeeinflussungen 81, 83.  
 Pulsator 78.
- Qualitätsfaktor** 44.  
 Querschnittsübergänge 76.
- Radialprobe** 9.  
 Ratsche 37.  
 Reckprobe (Ketten) 128.  
 Rekristallisation 141.  
 Risse (Untersuchungen auf) 150.  
 Ritzhärteverfahren 64.  
 Rockwellprüfung 63.  
 Röntgendurchstrahlung 121, 151..  
 Rohrbiegeprobe 89.  
 Rohrstauchprobe 95.  
 Rotbruchversuch 145, 150.  
 Rutschkegel 93.  
 Rutschvorgänge 143.

- Scharfkerb 68.  
 Scherversuch 53.  
 Schervorgang 54.  
 Schervorrichtung 54.  
 Schieferbruch 187.  
 Schmelzschweißung 120.  
 Schlackenzeilen 186.  
 Schlaghärteprüfer 62.  
 Schlagzugversuch 74.  
 Schlagbiegeversuch 91.  
 Schmiedeprobe 95.  
 Schmuckler-Prüfgerät 122.  
 Schweißprüfung 117, 150.  
 Seigerungsadern 81, 95, 100, 154, 182.  
 Sickenprobe 100.  
 Skleroskop 63.  
 Spannungsdehnungsschaubild 15, 40.  
 Spannungspunkte 16.  
 Spannungsunterbrechungen 16.  
 Spiegelapparatur 27.  
 Stahlguß (Glühwirkung) 171.  
 Stahlsortenschnellprüfung 62, 150.  
 Stauchbeanspruchungen 95.  
 Stauchkörper 93.  
 Stauchversuch 93.  
 Streckgrenze 17.  
 Streckgrenze (0,2 — Grenze) 18.  
 Streckgrenzenbeeinflussungen 20.  
  
 Tangentialprobe 9.  
 Taschentuchprobe 89.  
 Technologische Prüfungen 79.  
 Teilmaschine 38.  
 Teilungsintervalle 39.  
 Tensometer 33.  
 Tiefenmeßverfahren 64.  
 Tiefungsprobe 105.  
 Tiefungsfähigkeit 105.  
 Trennungsbruch 46, 71.  
  
 Überhitzungsstruktur 164.  
 Überkohlung 109.  
 Umkristallisation 162.  
 Umwandlungspunkte 162, 166.  
  
 Untersuchung auf Risse 150.  
 Ursprungsquerschnitt 42.  
  
 Verbrennungsstruktur 165.  
 Vergleichsverfahren (Korrosion) 117.  
 Verfahrensprüfung 127.  
 Verformungsanteil 47.  
 Verformungsbruch 46.  
 Verformungsgröße 37.  
 Verformungswiderstand 43.  
 Verformungsvermögen 37, 42, 71.  
 Verschmiedung 95, 156.  
 Versuchsdauer 52.  
 Versuchsdurchführung 15.  
 Versuchsgeschwindigkeit 22, 52.  
 Verwindungsprobe 87.  
  
 Wärmbehandlung 161, 171.  
 Warmbiegeprobe 90.  
 Warmbildsamkeit 145.  
 Warmfestigkeit 48.  
 Warmkopfschlagprobe 97.  
 Warmstreckgrenze 48.  
 Warmverarbeitung 157.  
 Warmverformungsvermögen 95.  
 Wasserdruckprobe 103.  
 Werkstattmäßige Prüfungen 148.  
 Werkstoffeigenschaften (durch Glühen)  
 160.  
 Werkstoffverunreinigung 181.  
 Werkstoffvorschriften 202.  
 Werkstoffzustandsänderung 161.  
 Wickelprobe 88.  
 Winkelbiegeprobe 88.  
  
 Zähigkeitsprüfungen 67.  
 Zeilenstruktur 186.  
 Zementierung 108.  
 Zerreißmaschinen 191.  
 Zeitdehnungskurven 53.  
 Zugfestigkeit 22.  
 Zugversuch 14.  
 Zugversuch (mit Feinmessung) 24.

---

## **Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinen- und Bauingenieure.**

Von Prof. Dipl.-Ing. **Otto Wawrziniok**, Dresden. Zweite, vermehrte und vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 641 Textabbildungen. XX, 700 Seiten. 1923. Gebunden RM 26.—\*

---

**Die Dauerprüfung der Werkstoffe** hinsichtlich ihrer Schwingungsfestigkeit und Dämpfungsfähigkeit. Von Prof. Dr.-Ing. **O. Föppl**, Braunschweig, Dr.-Ing. **E. Becker**, Ludwigshafen und Dipl.-Ing. **G. v. Heydekampf**, Braunschweig. Mit 103 Textabbildungen. V, 124 Seiten. 1929. RM 9.50; gebunden RM 10.75\*

---

**Materialprüfung mit Röntgenstrahlen** unter besonderer Berücksichtigung der Röntgenmetallographie. Von Prof. Dr. **Richard Glocker**, Stuttgart. Mit 256 Abbildungen. VI, 377 Seiten. 1927. Gebunden RM 31.50\*

---

**Die Brinellsche Kugeldruckprobe** und ihre praktische Anwendung bei der Werkstoffprüfung in Industriebetrieben. Von **P. Wilh. Döhmer**, Schweinfurt. Mit 147 Abbildungen im Text und 42 Zahlentafeln. VI, 186 Seiten. 1925. Gebunden RM 18.—\*

---

**Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl.** Hand- und Hilfsbuch für Eisenhütten-Laboratorien. Von Prof. Dipl.-Ing. **O. Bauer** und Prof. Dipl.-Ing. **E. Deiß**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 176 Abbildungen und 140 Tabellen im Text. VIII, 304 Seiten. 1922. Gebunden RM 12.—\*

---

**E. Preuß, Die praktische Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes.** Für Ingenieure, insbesondere Betriebsbeamte. Bearbeitet von Prof. Dr. **G. Berndt** und Prof. Dr.-Ing. **M. v. Schwarz**. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 204 Figuren im Text und auf 1 Tafel. VIII, 198 Seiten. 1927. RM 7.80; gebunden RM 9.20\*

---

**Elastizität und Festigkeit.** Die für die Technik wichtigsten Sätze und deren erfahrungsmäßige Grundlage. Von Prof. Dr.-Ing. **C. Bach**, Stuttgart, und Prof. **R. Baumann**, Stuttgart. Neunte, vermehrte Auflage. Mit in den Text gedruckten Abbildungen, 2 Buchdrucktafeln und 25 Tafeln in Lichtdruck. XXVIII, 687 Seiten. 1924. Gebunden RM 24.—\*

---

Ⓜ **Die Wechselfestigkeit metallischer Werkstoffe.** Ihre Bestimmung und Anwendung. Von Dr. techn. **Wilfried Herold**, Wien. Mit 165 Textabbildungen und 68 Tabellen. VII, 276 Seiten. 1934. Gebunden RM 24.—

---

**Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente.** Elastizität und Festigkeit von Stahl, Stahlguß, Gußeisen, Nichteisenmetall, Stein, Beton, Holz und Glas bei oftmaliger Belastung und Entlastung sowie bei ruhender Belastung. Von **Otto Graf**. Mit 166 Textabbildungen. VIII, 131 Seiten. 1929. RM 14.—; gebunden RM 15.50\*

---

\* Abzüglich 10% Notnachlaß. Ⓜ = Verlag von Julius Springer, Wien.

---

**Verlag von Julius Springer, Berlin und Wien.**

**Die Edelmstähle.** Von Dr.-Ing. **F. Rapatz**, Düsseldorf. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage. Mit 163 Abbildungen und 112 Zahlentafeln. VIII, 386 Seiten. 1934. Gebunden RM 22.80

---

**Rostfreie Stähle.** Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „Stainless Iron and Steel“ von **J. H. G. Monypenny**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 122 Textabbildungen. VIII, 342 Seiten. 1928. Gebunden RM 27.—\*

---

**Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung.** Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 205 Textabbildungen und 1 Tafel. VIII, 370 Seiten. 1923. Gebunden RM 15.—\*

---

**Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung.** Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift: „The Heat Treatment of Tool Steel“ von **H. Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 226 Textabbildungen. X, 324 Seiten. 1922. Gebunden RM 12.—\*

---

Ⓜ **Rostschutz und Rostschutzanstrich.** Von Prof. **Hermann Suida**, Wien, und Privatdozent **Heinr. Salvaterra**, Wien. (Technisch-gewerbliche Bücher, Bd. 6.) Mit 193 Abbildungen im Text. VI, 344 Seiten. 1931. Gebunden RM 24.—

---

**Werkstoff-Fragen des heutigen Dampfesselbaues.** Von **Max Ulrich**, Leiter der Abteilung für Maschinenbau einschließlich Metallographie an der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Mit 163 Textabbildungen. XII, 180 Seiten. 1930. RM 22.50; gebunden RM 24.—\*

---

**Die ferromagnetischen Legierungen und ihre gewerbliche Verwendung.** Von Dipl.-Ing. **W. S. Messkin**, Leningrad. Umgearbeitet und erweitert von Regierungsrat Dr. phil. **A. Kußmann**, Berlin. Mit 292 Textabbildungen. VIII, 418 Seiten. 1932. Gebunden RM 44.50

---

**Metallographie der technischen Kupferlegierungen.** Von Dipl.-Ing. **Alfred Schimmel**. Mit 199 Abbildungen im Text, 1 mehrfarbigen Tafel und 5 Diagrammtafeln. VI, 134 Seiten und 4 Seiten Anhang. 1930. RM 19.—; gebunden RM 20.50\*

---

**Metallographie des Aluminiums und seiner Legierungen.** Von Dr.-Ing. **V. Fuß**. Mit 203 Textabbildungen und 4 Tafeln. VIII, 219 Seiten. 1934. RM 21.—; gebunden RM 22.50

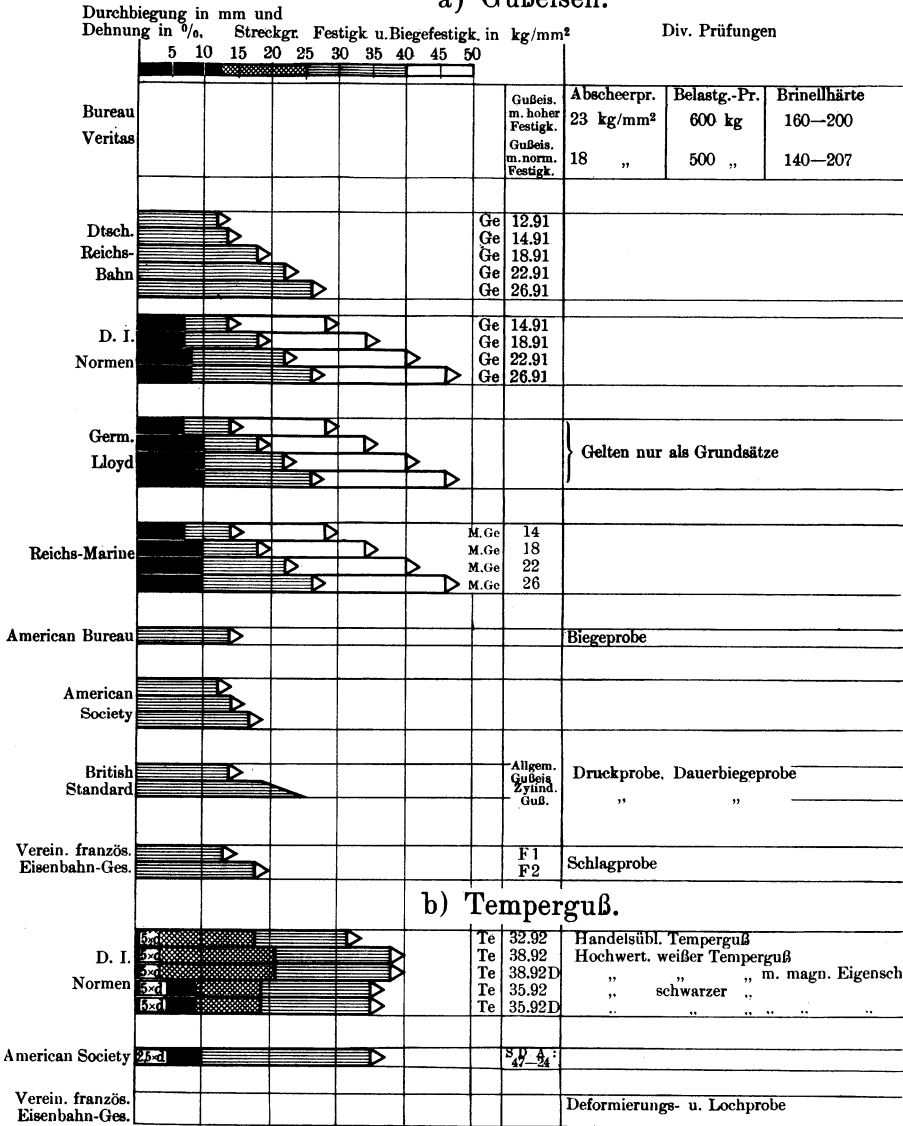
---

\* Abzüglich 10% Notnachlaß. Ⓜ = Verlag von Julius Springer, Wien.

---

Verlag von Julius Springer, Berlin und Wien.

a) Gußeisen.





# Stahlguß.

# Tafel II.

	Dehnung in % ; Streckgrenze und Festigkeit in kg/mm <sup>2</sup>															Biege- Probe ↘	Div. Prü- fungen			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75					
British Corpor. u. Imper. Japanese	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°	Klang-u. Fall- Probe		
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
Bureau Veritas	72xd	[Graph: 72% elongation]															90°	Schlag-Klang- u. Fall-Probe		
	72xd	[Graph: 72% elongation]															90°		"	
	72xd	[Graph: 72% elongation]															90°		"	
	72xd	[Graph: 72% elongation]															60°		"	
Det Norske Veritas	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°	"		
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
Dtsch. Reichs- Bahn	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 38.81 R	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 45.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 50.81 R	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 52.81 S	
D. I Normen	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 38.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 38.81 R	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 45.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 50.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 50.81 R	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 52.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 60.81	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 38.81 S Sondergüte	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 45.81 S "	
	5xd	[Graph: 5% elongation]																	St. G. 52.81 S "	
German. Lloyd	5xd	[Graph: 5% elongation]															180°	Klangpr.		
	5xd	[Graph: 5% elongation]															90°		"	
	5xd	[Graph: 5% elongation]															90°		"	
	5xd	[Graph: 5% elongation]															90°		"	
Bauvorschriften für Land- u. Schiffskessel	5xd	[Graph: 5% elongation]															180°		Stg. I	
	5xd	[Graph: 5% elongation]															90°		" II	
Richtlinien	5xd	[Graph: 5% elongation]															180°	Kerbschl. - Pr.	Stg. I	
	5xd	[Graph: 5% elongation]															90°		" II	
Lloyds Register u. Registro Italiano	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°	Klang-u. Fall- Probe		
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
Reichs- Marine	2xd	[Graph: 2% elongation]															180°	6 m 13 cm <sup>2</sup>	M. Stg 38	
	2xd	[Graph: 2% elongation]															180°		4 m 13 cm <sup>2</sup>	M. Stg 45
	2xd	[Graph: 2% elongation]															180°		4 m 13 cm <sup>2</sup>	M. Stg 50
	2xd	[Graph: 2% elongation]															180°		5 m 13 cm <sup>2</sup>	M. Stg 52
American Bureau	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°			
	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°		"	
American Society	87xd	[Graph: 87% elongation]															120°	35 % $\psi$ 30 % $\psi$ 25 % $\psi$	weich	
	87xd	[Graph: 87% elongation]															90°		mittel	
	87xd	[Graph: 87% elongation]															90°		hart $\psi$ = Kontraktion	
British Standard	87xd	[Graph: 87% elongation]															90°		Gußstücke allgemein	
	87xd	[Graph: 87% elongation]																	" mit Abnutzungsfläche	
Vereinigte franz. Eisen- bahn-Ges.	72xd	[Graph: 72% elongation]																	B	
	72xd	[Graph: 72% elongation]																	BS	
	72xd	[Graph: 72% elongation]																	E ES	

Niet-, Schrauben-, Stehbolzen- und Ankermaterial.

Tafel III.

	Dehnung in %; Streckgrenze und Festigkeit in kg/mm <sup>2</sup>											Kalt- Biege ↙	Härte- Biege ↙	Kalt- Stauch	Warm- Stauch	Loch- Probe	Div. Prüfung			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55								60	
British Corporation und Imperio Japanese	203.2												180°							Flußstählen: Rundstahl
	203.2												180°	180°						Kesselmaterial: " Längsanker
	203.2												180°	180°						Schweißstählen: " Stehbolzen
	203.2																			
Bureau Veritas	72x2												180°	180°						Schiffbau: Nietstahl
	72x2												180°	180°						Kesselbau: Anker- u. Stehbolzen
	72x2												180°							" " Nietstahl
Det Norske Veritas	8x2																			Stehbolzen
	8x2																			Schiffbau: Nietstangen
	8x2																			Kesselbau: "
Deutsche Reichsbahn	5x2												180°							St 34.13
	5x2												180°							St 38.13
	5x2												180°							St 34.12
	5x2												180°							St 37.12
	5x2												180°							St 37.21 St 50.11
D. I. Normen	5x2												180°							St 34.13
	5x2												180°							St 38.13
Germ. Lloyd	10x2												180°							Flußstählen: Schiffbau für Nieten
	10x2												180°	180°				Gütezeifer 62	Schweißstählen: Kesselbau für Nieten und Anker	
	10x2												180°	180°					Schweißstählen: " " " " " "	
	10x2												180°						Schweißstählen: " " " " " "	
Bauvorschr. für Landdampfkessel	5x2												180°					Gütezeifer 62	Schweißstahl: für Nieten	
	5x2												180°	180°					Flußstahl: "	
Richtlin. f. Hochleistungskessel	5x2												180°					Gütezeifer 62	Schweißstahl: für Nieten	
	5x2												180°	180°					Flußstahl: "	
Lloyd's Register und Registro Italiano	203.2												180°	180°					Schiffbau: Nietstäbe	
	203.2												180°	180°					Kesselbau: Anker	
	203.2												180°	180°					" " Stehbolzen	
	203.2												180°	180°					" " Nietstäbe	
	203.2												180°	180°				Korbbiegepr.	" " Stehbolzen (Schweißstählen)	
Reichs-Marine	10x2												Bg 33						Schlag-zerreißprobe	S.M. Stahl Panzerbolzen
	10x2												Bg 33						Gew.-Biegepr.	Kesselanker
	10x2																			Schweißstählen, gewalzt, Stangenmaterial
	10x2																			" " gezogen, "
	10x2																			Flußstählen, gewalzt, "
	10x2																			" " gezogen, "
	10x2																			Ni-Stahl, gewalzt, "
	10x2																			" " gezogen, "
	10x2																			Schweißstählen, Schraubenmaterial
	10x2																			Flußstählen, " "
	10x2																			Ni-Stahl, " "
American Bureau	203.2																		Nietmaterial für Schiffbau	
	203.2												180°							" " Kessel
American Society	150.8												90°							Schraubenstahl S. D. A.: 66-21
	203.2												180°	180°				Kopfschlagpr.	Schiffnieten S. D. A.: 13-24	
	203.2												180°					ditto	Kesselnieten S. D. A.: 31-24	
	203.2												180°					48 % 4	Stehbolzen, Bolzen S. D. A.: 72-24	
	203.2												180°					40 % 4	" " S. D. A.: 72-24	
British Standard	203.2												180°						Nieten für Kesselbau	
	203.2												180°						" " Lokomotivbau	
Vereinigte franz. Eisenbahn-Ges.	72x2													180°						Rundstählen für Muttern, Schrb., Nieten Qual. B



	Dehnung in % ; Streckgrenze und Festigkeit in kg/mm <sup>2</sup>																	Biege- Probe ↘	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85		
British Corpor. u. Imper. Japanese	[Graph]																	90°	Schmiedestücke aus Schweisseisen
	[Graph]																	180°	Flußeisen
Bureau Veritas	[Graph]																	180°	Schmiedestücke
	[Graph]																	180°	(Schlagprobe)
Det Norske Veritas	[Graph]																	180°	Schmiedestücke
Deutsche Reichs- Bahn 1)	[Graph]																		Maschinenbaustahl St 34.11 R
	[Graph]																		St 42.11 R
	[Graph]																		St 50.11 R (bei Triebwerksteilen 24% δ)
	[Graph]																		St 60.11 R (Schienen und Zugschienen)
	[Graph]																		St 70.11 R
	[Graph]																		St 80.11 R
	[Graph]																		St. C 10.61
	[Graph]																		St. C 16.61
	[Graph]																		Vergütungsstahl St. C 35.61
	[Graph]																		St. C 35.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 45.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 45.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 60.61
	[Graph]																		St. C 60.61 vergütet
	[Graph]																		(Kerbschlagprobe), Kropfachsen (Schlagversuch), Achswellen (Sondergüte)
[Graph]																		(Kerbschlagprobe), Gegenkurbeln (Schlagversuch) Radreifen	
[Graph]																		( )	
[Graph]																	180°	Stahl für Kolbenstangen	
[Graph]																	180°	Faltversuch St. 48	
[Graph]																	180°	S 52	
[Graph]																		Stahl für Triebwerkteile (Freibstangen)	
[Graph]																		Einsetzstahl für Zapfen	
D. N. Normen 1)	[Graph]																	90°	Maschinenbaustahl St 00.11 ohne Angabe phys. Werte
	[Graph]																		St 37.11
	[Graph]																		St 34.11
	[Graph]																		St 42.11
	[Graph]																		St 50.11
	[Graph]																		St 60.11
	[Graph]																		St 70.11
	[Graph]																		St. C 10.61
	[Graph]																		St. C 16.61
	[Graph]																		St. C 25.61 gegülht
	[Graph]																		St. C 25.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 25.61 gegülht
	[Graph]																		St. C 35.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 45.61 gegülht
	[Graph]																		St. C 45.61 vergütet
	[Graph]																		St. C 60.61 gegülht
	[Graph]																		St. C 60.61 vergütet
	[Graph]																		Nickel- u. Chromnickelstahl EN 15 gegülht
	[Graph]																		EN 15 vergütet
	[Graph]																		EN 25 gegülht
[Graph]																		EN 25 vergütet	
[Graph]																		EN 35 gegülht	
[Graph]																		EN 35 vergütet	
[Graph]																		EN 45 gegülht	
[Graph]																		EN 45 vergütet	
[Graph]																		VCN 15w gegülht	
[Graph]																		VCN 15w vergütet	
[Graph]																		VCN 15h gegülht	
[Graph]																		VCN 15h vergütet	
[Graph]																		VCN 25w gegülht	
[Graph]																		VCN 25w vergütet	
[Graph]																		VCN 25h gegülht	
[Graph]																		VCN 25h vergütet	
[Graph]																		VCN 35w gegülht	
[Graph]																		VCN 35w vergütet	
[Graph]																		VCN 45 gegülht	
[Graph]																		VCN 45 vergütet	
[Graph]																		VCN 45 vergütet	
Germ. Lloyd	[Graph]																	180°	Schmiedestücke
	[Graph]																	180°-90°	für Turbinenläufer (bei Tangentialproben 17-7% δ)
Bauvorschr. f. Landmaschinen u. Richtlinien f. Hochdruckkessel	[Graph]																		
	[Graph]																		
	[Graph]																		
	[Graph]																		
Lloyds Register und Registro Italiano	[Graph]																	180°	Schmiedestücke aus Ingottstahl (Gütezziffer 57)
	[Graph]																	180°	( " 57)
	[Graph]																	180°	für besondere Zwecke ( " 57)
	[Graph]																	180°	Ritzwellen aus Ni-Stahl (Querprobe 16% δ)
Reichs- Marine	[Graph]																	Bg 33	Schmiedestücke aus SM oder Elektro-Flußeisen I <sup>1)</sup>
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " II, desgl. aus Tiegelstahl <sup>2)</sup>
	[Graph]																	Bg 25	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 25	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	Bg 33	" " " " " " " " " " " "
[Graph]																	150°	5%iger Nickelstahl für Schaufeln " " " " " "	
[Graph]																	180°	Rostsicherer Stahl, 13% Cr. für Schaufeln	
[Graph]																	180°	Rostsicherer Stahl mit hohem Ni- und Cr-Gehalt für Turb.-Schaufeln	
American Büro	[Graph]																	180°	Ingottstahl-Schmiedestücke für Schiffbau
	[Graph]																	90°	Schweißstahl- " " " " " "
	[Graph]																	180°	Schmiedestücke für Schiffbau
	[Graph]																	180°	Stahl-Schmiedestücke Grad 1 für Maschinenbau
	[Graph]																	180°	" " " " " " " " " " " "
	[Graph]																	90°	Schmiedeleierne Schmiedestücke für Maschinenbau
American Society	[Graph]																	180°	mittlerer Kohlenstoffstahl
	[Graph]																	90°	boher " " " " " "
	[Graph]																	180°	weicher " " " " " "
	[Graph]																	60°	Sonderstahl " " " " " "
	[Graph]																	90°	vergüteter Stahl " " " " " "
	[Graph]																	180°	Konstruktionsstahl für Lokomotiven " " " " " "
	[Graph]																	180°	Wagen " " " " " "
	[Graph]																	180°	vergüt. Kohlenstoffstahl für Lokomotiv-Achsen " " " " " "
	[Graph]																	180°	45-50% (p) Kohlenstoffstahl für Lokomotiven ungegült " " " " " "
	[Graph]																	180°	22-24% (p) Kohlenstoffstahl für Lokomotiven ungegült " " " " " "
[Graph]																	180°	28-32% (p) " " " " " " gegült " " " " " "	
[Graph]																	180°	35% (p) kaltgewalzte Stabiachsen " " " " " "	
[Graph]																	180°	Bandagen " " " " " "	
[Graph]																	30-33% (p) Weichwalzisen für Schmiedestücke	" " " " " "	
British Standard	[Graph]																	180°	Schmiedestahl Klasse A
	[Graph]																	180°	" " " " " " B
	[Graph]																	180°	" " " " " " C
	[Graph]																	180°	" " " " " " D
Vereinigte franz. Eisen- bahn-Gesell.	[Graph]																	180°	Härtebiegeprobe) Stahl für Schmiedestücke Klasse A
	[Graph]																	180°	" " " " " " B
	[Graph]																	180°	" " " " " " E
	[Graph]																	180°	" " " " " " G
	[Graph]																	180°	" " " " " " D
	[Graph]																	180°	Schlagprobe u. Bruchprobe) Achsen " " " " " "
[Graph]																	180°	Radreifen " " " " " "	
[Graph]																	180°	" " " " " " G	
[Graph]																	180°	" " " " " " H	

1) Siehe auch Tafel für Niet-, Schrauben-, Stehbohlen- und Ankermaterial bzw. Profil usw.

2) Diese Vorschriften befinden sich in Umarbeitung, sie werden sich aber an Din anlehnen. Abnahme teilweise nach Din.

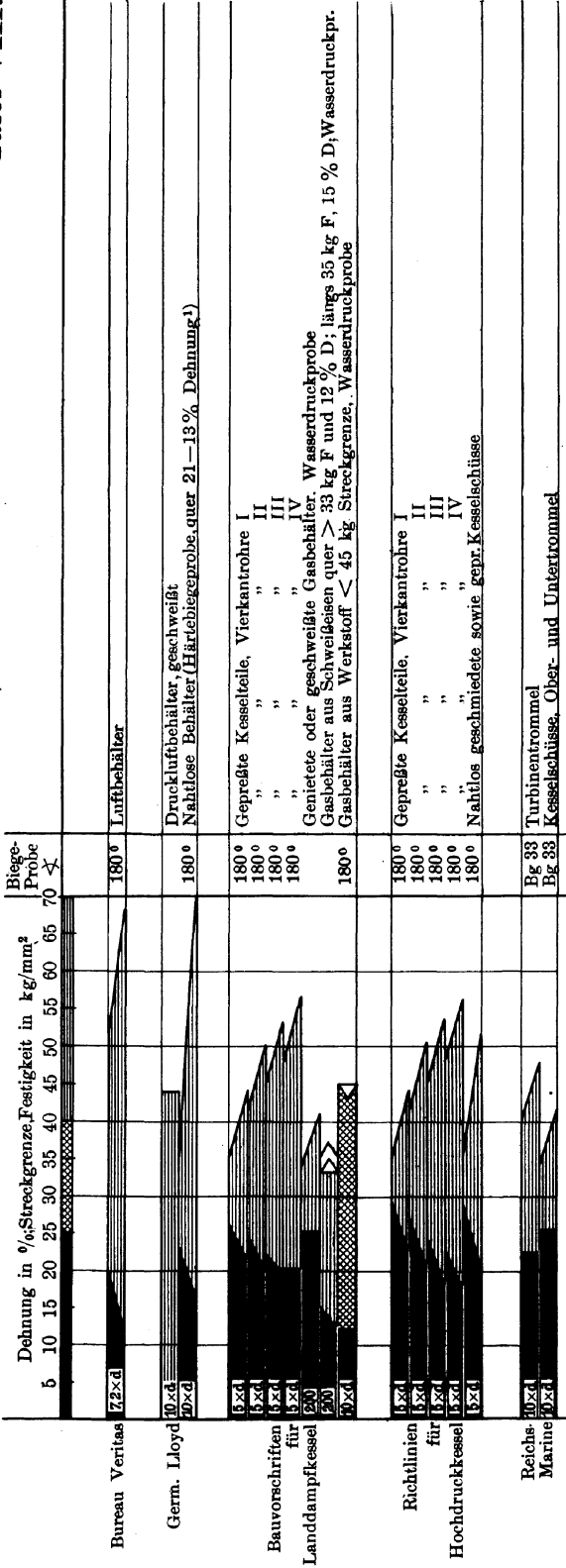


Rohre.

	Dehnung in %, Streckgr. u. Festigkeit in kg/mm <sup>2</sup>											Kalt- Biegepr.	Härte- Biegepr.	Aufweit- Probe	Bördel- Probe	Div. Prüfung.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55						
British Corpor. u Imper. Japanese												180°					
Bureau Veritas												180°				Flachschlagpr. "	Siede- und Ankerrohre Stahlrohre für Wasserröhrenkessel Dampfleitungsrohre Rohre aus Schweißeisen für Kessel
Det Norske Veritas																	ohne weitere Angaben
Dtsch. Reichsbahn												180°					Heiz-, Siede-, Ueberhitzer- und Rauchrohre Nahtlose Gewinderöhre, Leitungsrohre
D. L. Normen												180°				Faltversuch "	Sf 35.29 St 45.29 St 55.29 St 65.29 St 34.28
Germ. Lloyd												180°	180°			Schweißbiegepr.	Nahtlose Rohre Nahtlose oder überlapptgeschweißte Rohre
Bauvorschr. für Landdampfkessel												180°					Wasser- und Ankerrohre
Richtlinien für Hochdruckkessel												180°				Aufdornpr.	Wasser- und Ankerrohre
Lloyds Register und Registro Italiano												180°				Flachschlagpr. u. Stauchprobe "	Dampfrohre Rohre für Wasserröhrenkessel Überlapptgeschweißte Kesselrohre " " " " aus Holzkohleneisen
Reichs- Marine												Bg 33 Bg 33 Bg 33 Bg 33 Bg 25 Bg 33 Bg 33 Bg 33 Bg 33				Aufdornpr. Schweißbearbeitungs- probe u. Biegepr.	Nahtlose Dampfleitungsrohre und Fallrohre für Wasserröhrenkessel Nahtlose Wasserrohre Nahtlose und geschweißte Feuer- und Ankerrohre (Flußeisen) (Schweißeisen) Nahtlose Rohre für Schiffbau, hart " " weich Geschweißte Rohre für Schiffbau Gewellte Flammrohre
American Bureau												90°				Flachschlagpr. "	Kesselrohre Nahtlose Rohre Grad 1 " " " " 2
American Society												90°					geschweißte u. nahtlose Rohre, Bessemerstahl S.D. A.: 53-24 " " " " S.M.-Stahl S.D. A.: 53-24 " " " " " niedrig S.D. A.: 53-24 " " " " " mittel S.D. A.: 53-24 " " " " Weichstahlrohre S.D. A.: 72-24
Vereinigte franz. Eisenbahn-Ges.												180°				Flachschlagpr. "	Rauch- u. Siederöhre ohne Angabe phys. Werte Rohre für Heizung usw.

# Nahtlose Behälter, Flaschen usw.

Tafel VIII.



<sup>1)</sup> Falls Flachstäbe statt  $10 \times d = 11.3 \sqrt{Q}$ , bzw.  $5 \times d = 5.6 \sqrt{Q}$ .

Damerow, Werkstoffabnahme.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

